Münster.1927 № 7

Phil. Diss

Chemie

Zersetzungsvorgänge im Waldhumus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

der

Philosophischen und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster i.W.

vorgelegt von

Theodor Kleberg

aus Bochum i.W.

Tag der mündlichen Prüfung: 3. Juni 1927.

Dekan: Herr Prof. Dr. A. von Salis.

Referent: Herr Prof. Dr. A. Bömer.

Dessau

Anhaltische Buchdruckerei Gutenberg, G. Zichäus

1927.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern.

Mitteilung aus der Abteilung für Bodenuntersuchung und Pflanzenernährung der Landwirtschaftlichen Versuchsstation in Münster i. W.

Zersetzungsvorgänge im Waldhumus.

Von

Theodor Kleberg.

(Mit 6 Textabbildungen.)

Die bisherigen Ansichten über die Bildung der verschiedenen Arten von Waldhumus.

Die Zersetzungsvorgänge im Waldhumus haben in den letzten Jahrzehnten erneut die besondere Aufmerksamkeit der Forstwirtschaftler auf sich gelenkt, nachdem man beobachtet hat, daß der Waldhumus, der unter normalen Verhältnissen die eigentliche Nährquelle für die Waldbäume bildet, unter Umständen eine fehlerhafte Beschaffenheit annehmen kann, die bis zur vollen Unfruchtbarkeit des Waldbodens führt, d. h. kein oder kaum ein Baumwachstum mehr aufkommen läßt.

Man unterscheidet nach den Veröffentlichungen von Forstmeister Erdmann[1]), der über umfangreiche, diese Frage betreffende Erfahrungen verfügt, je nach der Zersetzung der Baumabfälle, bzw. der Bedeckung des Bodens, vorwiegend dreierlei Arten von Waldböden, nämlich:

1. den Normalboden, d. h. einen Boden mit einer Bedeckung von normalzersetztem Humus,

2. die Bodenverwüstung, d. h. einen Boden mit einer Decke von Rohhumus bzw. Trockentorfhumus und,

3. die Bodenverödung oder Bodenverhagerung, d. h. einen Boden mit einer Decke von Moos und sonstigen Kleinpflanzen.

Den Veröffentlichungen Erdmanns habe ich die mir freundlichst mitgeteilten Beobachtungen von Forstrat Baumgarten in Westfalen und von Revierförster Schneider in den Fürstlich von Bentheimschen Waldungen (Bagno) bei Burgsteinfurt hinzugefügt.

1. Normalboden, d. h. Waldboden mit lockerer Lagerung der Bodenteilchen, lockerer Oberfläche und sogenanntem milden Humus. Der Laub- und Nadelabfall unterliegt hier einer regelmäßigen und alsbaldigen Verwesung (Oxydation unter Mitwirkung von Kleinlebewesen), wobei sich eine feinpulverige Masse bzw. Humus bildet, der sich regelmäßig, ohne den Boden vor Luftzutritt abzuschließen mit ihm vermischt oder sich in ihm

[1]) Vgl. Bericht über Vereinssitzung des Forstvereins für Westfalen und Niederrhein (13. Dezember 1924 in Münster i. W), und Mitteilungen der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft 1926, S. 579.

verteilen läßt, hier unter weiterer Mitwirkung von Kleinlebewesen zu Kohlensäure, Wasser, Phosphorsäure und Salpetersäure (letztere aus dem Phosphor und Stickstoff des Humus) oxydiert wird, dadurch den Boden locker hält und die Bäume mit Nährstoffen versorgt. Wenn der Waldboden an solchen Stellen uneben ist, so findet man in den Mulden als Kleinpflanzen meistens Sauerklee und Waldmeister; das Auftreten dieser Pflanzen ist im allgemeinen ein Merkmal für eine normale gute Zersetzung des Humus (Abb. 1).

2. Bodenverwüstung. Diese wird hervorgerufen durch Anhäufung von dem in der Verwesung behinderten Baumabfall (meistens nur von Nadel-, weniger von Laubholz) und durch völligen Abschluß der Bodenober-

Abb. 1.

„Am Steinbruch" im Bagno 100jähriger Buchenbestand.
Waldstück mit normal zersetztem Humus und Naturverjüngung, sowie mit Waldmeister und Sauerklee als Kleinvegetation.

fläche von Luftzutritt; der sich nur wenig zersetzende Baumabfall geht nach und nach in eine torfartige Masse über und wird daher außer Rohhumus auch Torf- bzw. Trockentorfhumus genannt. Der Boden unter der Rohhumusdecke ist meistens hell gefärbt, frei von sogenanntem milden Humus und frei von Kleinlebewesen; infolgedessen feste Lagerung des Bodens und keine Krümelbildung (Abb. 2 und 3, S. 3 und 4).

In den oberen Bodenschichten tritt ein lackartiger Überzug über die Bodenkörner (humose Bleicherde, bzw. Podsolboden) auf, in den tieferen Schichten eine Verkittung der Körner zu einer zusammenhängenden, harten bis steinartigen gelbbraunen Masse (Ortstein) (Abb. 4, S. 5).

In der Rohhumusschicht kommt kein Baumwachstum hoch; es dringen aus ihr keine Wurzeln in den unterliegenden Boden. Junge Buchen

halten sich meistens zwei Jahre und gehen dann ein. Die Wurzeln junger Kiefern verflachen sich vielfach in der Rohhumusschicht und treten sogar teilweise an die Oberfläche (Tellerwurzel) (Abb. 5, S. 6).

Wird der Boden mit der Rohhumusschicht durch den Dampfpflug umgebrochen, so gedeihen die Pflänzlinge zunächst sehr gut, bis ihre Wurzeln die Rohhumusschicht erreichen, um dann dem Absterben anheimzufallen.

a) Als Vorbeugungsmittel gegen die Bildung von Rohhumus wird allgemein

α) die Anlegung von Mischwald angesehen, d. h. die Bepflanzung mit bestimmten dem jeweiligen Standort und Klima angepaßten Baum-

Abb. 2.
„Am Forsthaus" im Bagno 100jähriger Buchenbestand.
Im Vordergrunde Waldstück mit Rohhumusbildung ohne Naturverjüngung. Im Hintergrunde normale Zersetzung.

vereinigungen, die den Kronenschirm andauernd gelockert hält, und die bodenpfleglichen Bestandesmitglieder nach Möglichkeit begünstigt; ferner durch eine rechtzeitige Verjüngung und eine auch der Bodenpflege Rechnung tragende Wahl der Betriebsart. (Erdmann).

Als schwer verwesend, humussammelnd gelten die Abfälle von Buche, Fichte, Weymutskiefer, Weißtanne und Kiefer; letztere gilt als ausgeprägter Humussammler.

Als leicht verwesend, humuszehrend werden bezeichnet die Abfälle von Eiche, Esche, Birke, Hainbuche, Lärche, Douglas- und Sitkafichte.

Wir werden aber sehen, daß auch im Mischwald Rohhumus auftritt.

β) Abhaltung von Sonnenbestrahlung, Regenschlag und zehrenden Winden, aber derart, daß noch ein gewisses Maß von Licht, Luft und

Regen an den Boden gelangen kann; zu dem Zweck soll der Kronenschirm dauernd schwach durchbrochen, der Boden durch Kleinpflanzen bedeckt gehalten werden.

b) Beseitigung (Heilung) der Bodenverwüstung.

Als erstes grundsätzliches Heilmittel kommt hier die Beseitigung des Rohhumus bzw. des Trockentorfs in Betracht. Diese kann entweder durch Umwandlung in milden Humus oder durch direkte Beseitigung der Humusdecke erfolgen.

α) Umwandlung des Rohhumus in milden Humus kann auf zweierlei Weise erfolgen, nämlich:

Abb. 3.
„Fuchshagen" 30jährige auf Rohhumus stockende krüppelartige Kiefernkultur.

αα. Durch Bodenverwundung, Mischung des Rohhumus mit dem Mineralboden, Kalkung und wiederholte mechanische Bearbeitung der Humusbodenschicht. Dieses Verfahren ist aber nur bei leichterer Erkrankung des Bodens, d. h. bei nur dünner Rohhumus- bzw. Trockentorfdecke ausführbar.

ββ. Bei starker Erkrankung des Bodens läßt sich die Umwandlung der hohen Humus- bezw. Trockentorf-Decke in milden Humus nur dadurch erreichen, daß man die Decke zu Wällen oder Hügeln anhäuft, die frei gelegten zwischenliegenden Bodenstreifen bepflanzt und den zu Wällen und Hügeln angehäuften Rohhumus der allmählichen Verwesung überläßt. Hierdurch kommen die wichtigen Nährstoffe des Rohhumus dem Boden bezw. den wachsenden Bäumen wieder zugute.

β) Die gründlichste Beseitigung der Rohhumus- bezw. Trockentorfschicht ist die Abgabe und Verwendung als Streu. Aber sie bedeutet auch eine Ausfuhr wichtiger Nährstoffe aus dem Waldboden; sie ist wohl

nur bei Verjüngung des Bestandes wegen der Kostenersparnis ratsam und darf mit der zu verwerfenden Form der vielfach üblichen Streunutzung nicht verwechselt werden.

3. Bodenverödung. Unter Bodenverödung versteht man den Abschluß der Bodenoberfläche vom Luftzutritt, sei es durch Verkrustung, sei es durch Verschlämmung, oder durch eine dichte Kleinflora (Algen, Haftmoose, Wassermoose, Adlerfarn, Angergräser, Heide und Heidelbeeren).

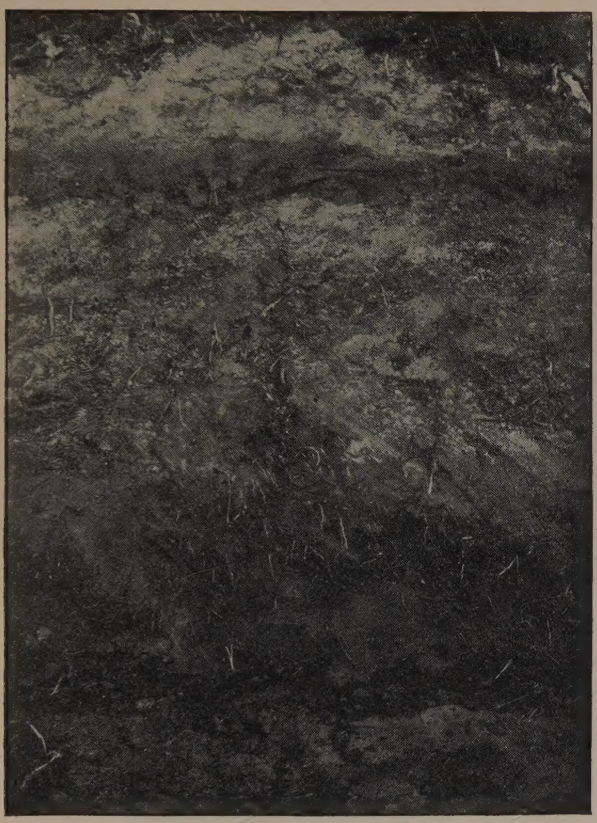

Abb. 4.
Bodenprofil mit Ortsteinbildung.
„Fuchshagen" 30jähriger Kiefernbestand.

Die Dichtlagerung der einzelnen Bodenteilchen, das Verschwinden des milden Humus, sowie der Kleinlebewesen aus den unter der Decke liegenden oberen Bodenschichten soll der Bodenverwüstung und Bodenverödung gemeinsam sein.

Die Bodenverödung durch eine Moosdecke tritt meistens in Waldblößen auf (sei es an Westabhängen, sei es an etwas erhöhten Stellen im Innern des Waldes), wo eine starke Sonnenbestrahlung eine schnelle Austrocknung (bezw. Verwesung) des frischen oder schon teilweise zersetzten Baumabfalls bewirkt und regelmäßiger starker Wind den trockenen Abfall verweht. Nur wenn der Verwehung durch den Wind

eine teilweise Zersetzung des Abfalles vorauf gegangen ist, kann eine Auslaugung der oberen Bodenschichten durch gebildete Humussäuren stattgefunden haben.

Man kann daher bei der Bodenverödung nicht von Hagerhumus, sondern höchstens von verhagertem oder Hagerboden sprechen; eine wirkliche Humusdecke wie bei der Bodenverwüstung tritt hierbei nicht auf (Abb. 6, S. 7).

Deshalb gestaltet sich die Wieder-Nutzbarmachung des verödeten oder Hagerbodens erheblich einfacher, als die der mit Rohhumus bezw. Trockentorf bedeckten Böden; es genügt eine einfache Beseitigung der

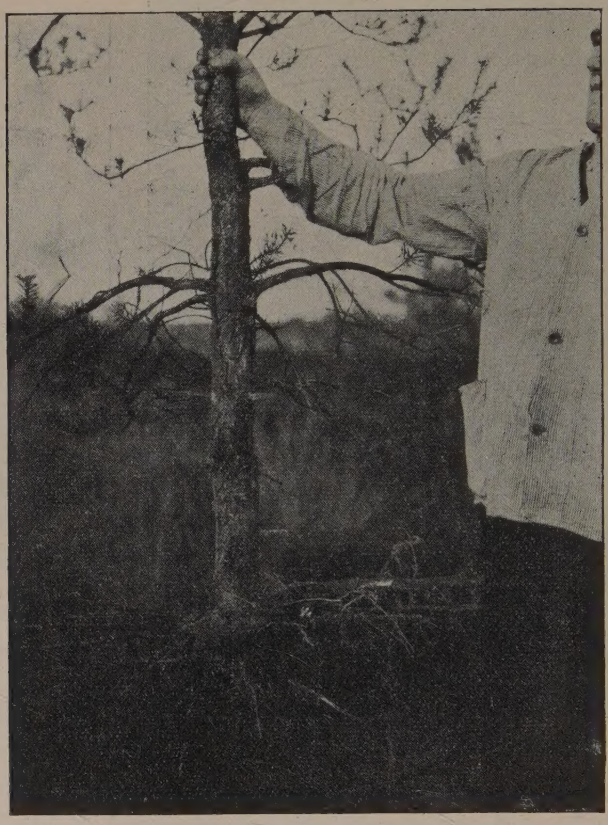

Abb. 5.
Tellerwurzelbildung. „Fuchshagen" 30jährige Kiefer.

Moosschicht, Lockerung des Bodens, nach vorsichtiger Hochdurchforstung, eine Einschränkung der Wirkung von Sonne, Wind und Regen durch Reisigdeckung unter Mitbenutzung des sich einstellenden Jungwuchses, oder Deckung der gesamten Bodenoberfläche mit bodenpfleglichen und unempfindlichen Holzarten.

Uber die Zersetzungsvorgänge im Waldhumus und Waldboden je nach der ihn bedeckenden Schicht liegen bis jetzt nur spärliche Untersuchungen vor; ich bin daher gern der Anregung der Herren Geheimrat Dr. J. König

und Dr. J. Hasenbäumer gefolgt, unter Berücksichtigung der hiesigen Waldverhältnisse über diese wirtschaftlich wichtige Frage weitere Untersuchungen anzustellen.

Bisherige Untersuchungen über den Waldhumus.

Die Eigenschaften des Hager- bzw. des Rohhumus und seine Wirkungen auf den unterliegenden Boden anlangend, so hat H. Kappen[1]) zuerst nachgewiesen, daß die Humuslösungen aus Rohhumus dem unterliegenden Boden eine hohe Austauschazidität erteilen. So fand er, daß 100 g der lufttrockenen Böden durch Schütteln mit 200 ccm

Abb. 6.
„Kösters Kamp" im Bagno, 89jährige Buchen.
Hagerboden mit Moosdecke.

N-Kaliumchloridlösung in 100 ccm des Filtrats folgende Titrationswerte mit 0,1 N-Natronlauge lieferten:

	Kiefern	Fichte	Kiefern und Fichte	alte Kiefern		
Höhe der Rohhumusschicht .	2 cm	2 cm	10 cm	8 cm	8 cm	8 cm
Tiefe der Bodenschicht . . .	—	—	—	20 „	60 „	100 „
Verbrauch an 0,1 N.-NaOH	15,2	19,5	16,45	21,3	18,0	15,0
in ccm	15,2	19,6	16,6	21,6	18,2	15,0

In tonig-lehmigen Böden konnte H. Kappen die Säure-Infiltration nur bis 1 m Tiefe, dagegen bei sandigen Böden bis 2,5 m Tiefe nachweisen. Im übrigen verläuft die Wirkung auf den Boden wie bei Heide-

[1]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1917, **89**, 39, und 1917 **91**, 321.

humus; seine in Wasser (Regen) löslichen Säuren lösen aus den darunter liegenden Sandschichten die vorhandenen Aluminium- und Eisenhydroxyde, hinterlassen den sog. Bleichsand (auch Bleisand gt), und scheiden sie, wenn sie in dichtere Bodenschichten gelangen, wieder aus, indem sie die Sandkörner verkitten und den Ortstein oder Orstein bilden.

Auch die Lösung aus dem Rohhumus der Wälder löst aus den oberen Bodenschichten Aluminium- und Ferrihydroxyd, hinterläßt die Bleicherde und kann auch in den Wäldern zu Ortsteinbildungen Veranlassung geben.

Auf dem Vorhandensein von Aluminium- und Ferrihumaten, die auch in den ursprünglichen Lösungen des Rohhumus zum Teil vorhanden sein können, beruht die Austausch-Azidität in dem Bodenhumus. Die Auszüge mit Kaliumchloridlösung liefern mit Ammoniak weiße Niederschläge von fast reinem Aluminiumhydroxyd. Diese Austausch-Azidität besitzen nicht nur die Rohhumuslösungen, sondern sie ist auch eine Eigenschaft aller wenig zersetzten, ja sogar der frischen Pflanzenstoffe.

Die Azidität der Humuslösungen stimmt annähernd überein mit der von Essigsäure-Lösungen gleicher Titrationsazidität.

Während diese Untersuchungen sich nur im allgemeinen mit den löslichen Säuren des Rohhumus befassen, haben M. Helbig und E. Knickmann[1]) insonderheit eingehende Untersuchungen bei ausgeprägtem Hagerhumus und Hagerboden im Vergleich zu Normalhumus und Normalboden vorgenommen. Die Proben, Humus und Boden, wurden aus dem Stadtwald Freiburg i. Br. entnommen:

	Hagerboden	Normalboden
Lage (Neigungsrichtung) . .	Süden	Norden
Baumbestand Kiefern[2])	120—140jähr.	45—48jährig
Bodendecke (Nadelabfall) . .	2 cm	1 cm
Bodenflora	Angergräser und Hagermoose	Süßgräser, Farne und Astmoose
Obergrund	2—15 cm schwarzgrau, starkhumos	2—18 cm schwarz bis gelbgrau
Untergrund	15—40 cm gelb bis grau	18—45 cm grau bis gelb
Grundgestein	Gneis	Gneislehm

Nach einem eintägigen starken Regenfall erwies sich der Boden des Hagerprofils bis 30 cm Tiefe nur mäßig feucht, während der Boden des Normalprofils in allen Schichten beim Zusammenpressen mit der Hand tropfbares Wasser abgab.

Der Boden wurde der üblichen physikalischen und chemischen Untersuchung unterworfen; der Humus dagegen auf seine Aziditätsverhältnisse und sein Verhalten gegen Salzsäure und Ammoniak (matière noire) u. a. untersucht.

---

[1]) Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung 1925, 5 H. A. 209.

[2]) Vereinzelt auch Eichen.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung mögen hier die hauptsächlichsten, welche die Unterschiede zwischen den Böden der beiden Profile am meisten hervortreten lassen, kurz wiedergegeben werden, indem H. O. für Hagerprofil-Oberboden, H. U. für Hagerprofil-Unterboden, N. O. für Normalprofil-Oberboden, N. U. für Normalprofil-Unterboden gesetzt wird.

I. Ergebnisse der Bodenuntersuchung.

1. Die Untersuchung des bis zur Gewichtsbeständigkeit getrockneten Bodens auf Glühverlust (Humus), auf Wasserkapazität und abschlämmbare Bestandteile ergab:

Boden	Glühverlust (Humus)		Wasserkapazität		Abschlämmbare Bestandteile	
	O. %	U. %	O. %	U. %	O. %	U. %
Hagerboden . . .	19,4	9,4	63,5	49,0	23,5	22,9
Normalboden. . .	9,2	4,5	42,7	33,3	34,5	34,6

Infolge des fast um das Doppelte höheren Humusgehaltes hat der Hagerboden im Ober- wie im Untergrund eine bedeutend höhere Wasserkapazität, dagegen einen geringeren Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen als der Normalboden. Das ist ungefähr das gegenteilige Verhalten von dem, was vorstehend Erdmann für andere echte Hagerböden angibt.

2. Durch Kochen von 100 g Feinerde der Böden mit 200 ccm Salzsäure (1,12 spez. Gewicht) wurden gelöst im Mittel:

	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	P_2O_5 %	MnO %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O %	SO_3 %	löslich in HCl SiO_2 %	löslich in Alkal. SiO_2 %
a) Obergrund.											
H. O. . . .	6,44	4,76	0,17	0,11	0,04	0,89	0,51	0,11	0,11	0,10	7,21
N. O. . . .	4,95	3,56	0,20	0,09	0,16	0,72	0,30	0,10	0,07	0,05	5,67
= Summe % H. O. = 20,45											
= Summe % N. O. = 15,88											
b) Untergrund.											
H. U. . . .	5,73	6,20	0,07	0,07	0,04	0,84	0,65	0,28	0,09	0,12	8,92
N. U. . . .	5,04	4,36	0,17	0,09	0,05	0,61	0,47	0,15	0,04	0,04	6,50
= Summe % H. U. = 23,01											
= Summe % N U. = 17,52											

Das Hagerprofil weist hiernach für alle Mineralstoffe, ausgenommen Kalk und Phosphorsäure, eine größere Löslichkeit in Salzsäure (1,12) auf als das Normalprofil; besonders tritt dieses bei der Kieselsäure hervor. Es scheint daher im Hagerboden eine stärkere Verwitterung und eine Ansammlung von löslichen Mineralstoffen stattgefunden zu haben, indem diese nicht ausgewaschen worden sind.

Das ist aber wieder das Gegenteil von dem, was vorstehend Erdmann vom Hagerboden behauptet. In ihm kann, wenn der Luftzutritt behindert und das Leben der Kleinwesen vernichtet ist, keine oder nur

eine beschränkte Verwitterung vor sich gehen, und ist in ihm auch infolge Auslaugens eher eine Ab- als Zunahme an löslichen Mineralstoffen bis zum völligen Unfruchtbarwerden anzunehmen.

2. Ergebnisse, die Beschaffenheit des Humus betreffend.

Zur Ermittlung der Beschaffenheit des Humus bestimmten Helbig und Knickmann:

1. den in Salzsäure löslichen Anteil,
2. den in Ammoniak löslichen Anteil (matière noire nach Grandeau),
3. den Stickstoffgehalt desselben.

Die ermittelten Werte für Obergrund (= O.) und Untergrund (= U.), des Hagerbodens (= H.) und Normalbodens (= N.) wurden in Prozenten des Bodens wie des Humus (Glühverlustes, S. 9, I Nr. 1) berechnet und waren folgende:

Bodenhumus	In Salzsäure löslich		In Ammoniak löslich		Stickstoff	
	O. %	U. %	O. %	U. %	O. %	U. %
In Prozenten des Bodens.						
Hagerboden H. . . .	5,5	2,7	6,61	1,74	0,479	0,207
Normalboden N. . . .	4,6	2,7	2,25	0,80	0,401	0,178
In Prozenten des Humus.						
Hagerboden H.	28,4	28,7	34,1	18,5	2,47	2,20
Normalboden N. . . .	50,0	60,0	24,6	17,8	4,36	3,96

a) Daß von dem bedeutend höheren Gehalt des Hagerbodens an Humus im Obergrund auch ein größerer Teil durch Salzsäure gelöst wird, ist einleuchtend, aber in Prozenten des Gesamthumus ist diese Menge bedeutend geringer als beim Normalboden. Es muß daher, wie die Versuche zeigen, ein häufiger und starker Wechsel von Feuchtigkeit und Trockenheit an der Westseite die Zersetzung des Humus ungünstig beeinflußt haben.

b) Umgekehrt wird durch Ammoniak von dem Hagerhumus sowohl absolut als auch in Prozenten des Gesamthumus im Ober- wie im Untergrund bedeutend mehr gelöst als vom Normalhumus; die Versuchsansteller erklären dieses dadurch, daß im Hagerhumus bedeutend mehr in Ammoniak lösliche Humuskolloide vorhanden sein müssen als im Normalhumus.

c) Der Stickstoffgehalt des Hagerbodens ist in Prozenten des Bodens höher, in Prozenten des Humus niedriger als beim Normalboden, bei dem die Verhältnisse umgekehrt liegen. Dieses Ergebnis spricht für eine stärkere Zersetzung des Humus im Normalboden, denn Hilgard fand z. B.:

Lage	Humus %	Stickstoff in Prozenten des Humus %
Boden in feuchter Lage .	2,70	5,45
Boden in trockener Lage .	0,75	5,87

Ähnliche Unterschiede fanden Emmerling und Loges zwischen Buchenhumus von normaler Beschaffenheit auf Lehm und Buchenrohhumus auf Lehm von saurer Beschaffenheit:

Buchenhumus-Boden: 7,44% Humus mit 0,37% N = 4,97% d. Humus
Buchenrohhumus-Boden: 63,16% „ „ 1,47% N = 2,32% „ „

Auch der von den Verfassern untersuchte Hagerhumus mit niedrigem prozentualen Stickstoffgehalt hatte, wie nachstehend gezeigt wird, eine wesentlich höhere saure Beschaffenheit als der Normalhumus.

3. Ergebnisse, den Säuregrad des Humus betreffend.

Die Kalkarmut, besonders im Hagerboden, ließ die Vermutung aufkommen, daß die Böden in mehr oder weniger starkem Maße Aziditätserscheinungen zeigen würden. Es wurden daher nach Kappen die drei Hauptformen der Bodenazidität, die aktive Azidität, die Austauschazidität und die hydrolytische Azidität bestimmt.

a) Aktive Azidität.

Ein Teil lufttrockene Feinerde wurde mit drei Teilen destillierten Wassers 1 Stunde lang geschüttelt und das Filtrat mit Natronlauge und Phenolphthalein als Indikator, titriert.

b) Austauschazidität.

Ein Teil lufttrockene Feinerde wurde mit drei Teilen N-Kaliumchloridlösung geschüttelt und im Filtrat die freie Säure durch Natronlauge ermittelt.

c) Hydrolytische Azidität.

In den oben erwähnten Mengenverhältnissen wurde zur Ermittlung dieser Aziditätsform mit molarer Natriumazetatlösung geschüttelt und in derselben Weise titriert und berechnet. Auf diese Weise wurden für je 1 kg Boden folgende Titrationswerte (ccm N.-NaOH) erhalten:

Bodenart	Aktive Azidität		Austauschazidität		Hydrolytische Azidität	
	O	U	O	U	O	U
Hagerboden H	9,0	0,7	123,8	48,5	163,3	81,7
Normalboden N	1,6	0,4	10,5	29,1	56,0	55,0

Die Azidität des Hagerbodens übertrifft daher in allen drei Formen bedeutend die des Normalbodens; für den Obergrund ist die aktive Azidität 5—6 mal, die Austauschazidität rund 12 mal, die hydrolytische Azidität rund 3 mal höher als die des Normalbodens. Der Untergrund ist zwar in allen drei Aziditätsformen wesentlich ärmer als der Obergrund; aber auch hier übertrifft der Hagerboden den Normalboden.

Bei Humusböden pflegt die hydrolytische Azidität die Austauschazidität um ein vielfaches zu übertreffen; hier besitzt der Hagerhumus ein Verhältnis zwischen den beiden Aziditätsformen, wie dieses in der Regel bei sauren Mineralböden aufzutreten pflegt.

Nach den vorstehenden Versuchen von Kappen kommt die Austauschazidität des Humus dadurch zustande, daß die Humussäuren Eisen- und Aluminiumhydroxyd lösen, und diese mit dem Kalium des Kaliumchlorides in Austausch treten; Eisen- und Aluminiumhydroxyd können die Humus-

säuren aus dem Humus mitbringen oder bei der Filtration durch den Boden aus diesem lösen; es entsteht dann unter Entfernung der beiden Hydroxyde aus dem Boden die sog. Bleicherde. Da in diesem Falle der Hagerboden mehr Eisen- und Aluminiumhydroxyd enthält als der Normalboden, so hat hier ein Auswaschen derselben aus dem Boden noch nicht stattgefunden, und wir haben es hier offenbar nicht mit einem ausgeprägten Hagerboden zu tun, sondern höchstens mit einem Waldboden, der im Anfange der Hagerbildung steht.

Zur Aufklärung dieser und anderer Fragen, besonders auch über die Ursachen der Entstehung des Rohhumus, habe ich verschiedene neue Proben Boden wie auch Humus von normalen, verödeten und verwüsteten Stellen in den Fürstlich von Bentheimschen Waldungen in Burgsteinfurt und in den von Beverfördschen Waldungen in Ostbevern entnommen. Die Besitzer und Verwaltungen haben die Probenahme in jeder Weise freundlichst unterstützt; bei der Probenahme waren mittätig Forstrat Baumgarten, Oberrentmeister Röhrs und Revierförster Schneider. Ihnen allen spreche ich an dieser Stelle aufrichtigen Dank für die Unterstützung aus. Die entnommenen Proben bezogen sich auf die Blätter und Nadeln in den verschiedenen Vegetationsstufen, wie auf die Baumabfälle im natürlichen, verwelkten bzw. verwesten Zustande; sodann auf die verschiedenen Schichten von Humus und darunter liegendem Boden an gesunden und kranken Stellen.

Eigene Untersuchungen.

Um das Fortschreiten der Zersetzung genau feststellen zu können, wurden bei der Probeentnahme alle besonderen Verhältnisse berücksichtigt. Zur Feststellung der etwaigen Unterschiede in der Zusammensetzung der Blätter und Nadeln von sogenannten Humussammlern und Humuszehrern wurden einerseits die wichtigsten Vertreter der Laubbäume Buche (Humussammler) sowie Birke, Eiche und Roteiche (Humuszehrer) in zwei verschiedenen Vegetationsstufen untersucht, und zwar die jungen, frischen Frühlingsblätter und die abgestorbenen, verwelkten Herbstblätter. Die letzteren wurden kurz vor dem Abfallen gepflückt, wodurch die Gefahr, daß sie am Erdboden von dem Regenwasser ausgelaugt werden konnten, vermieden wurde.

Andererseits wurden von den Nadelhölzern, Fichte und Kiefer als Humussammler und der ausländischen Sitkafichte als Humuszehrer, die Frühjahrsnadeln, die Herbstnadeln und die mehrjährigen Nadeln zur Untersuchung gebracht.

Die Hauptanzahl für die Untersuchungen lieferte der verwüstete Boden mit seiner, oft eine hohe Mächtigkeit erreichenden, Rohhumus- bzw. Trockentorfschicht, auch irrtümlicherweise Hagerhumus genannt.

An dieser Stelle sei erwähnt, daß die beiden Begriffe Rohhumus und Hagerhumus zu Verwirrungen Anlaß geben. Im folgenden ist nur vom Rohhumus die Rede, da es nach den gemachten Erfahrungen und den einstimmigen Aussagen der Forstleute einen Hagerhumus nicht gibt,

sondern nur von einem mit Moos- bzw. sonstigen Kleinpflanzendecke behafteten Hagerboden gesprochen werden kann.

War die Rohhumusschicht von so geringer Stärke, daß sie sich nicht in mehrere Schichten zerlegen ließ, so gestaltete sich die Probeentnahme ziemlich einfach, indem die gesamte Rohhumusdecke bis zum unterliegenden Boden entnommen wurde. In den weitaus meisten Fällen handelte es sich aber um Rohhumus von großer Mächtigkeit, besonders in den von Beverfördeschen Beständen in Ostbevern, wo er oft eine Mächtigkeit von 20 bis 30 cm erreichte. Hier konnten mühelos mehrere Schichten unterschieden werden. Als erste Schicht wurden die auf der Oberfläche liegenden unzersetzten oder auch wenig zersetzten Blätter bzw. Nadeln des jeweiligen Bestandes angesehen. Die weiteren Schichten lieferte der dem Mineralboden aufliegende Rohhumus, der durch seine lagenartig verfilzte Struktur in zwei bis drei weitere Schichten zerlegt werden konnte.

Auf diese Weise konnten leicht die Zersetzungsvorgänge verfolgt werden, da das Untersuchungsmaterial seine natürlichen Übergänge, eingeleitet von den Blättern und Nadeln in den verschiedenen Vegetationsstufen langsam übergehend in den auf dem Rohhumus liegenden kaum zersetzten Baumabfall bis zu den dem Mineralboden aufliegenden Rohhumusschichten, anschaulich offenbarte.

Fernerhin wurde dieses Untersuchungsmaterial noch ergänzt durch die Entnahme der der jeweiligen Rohhumusschicht unterliegenden Bodenschicht von 0—15 cm Tiefe.

Bei verödetem Boden (Hagerboden) mit einer Moos- bezw. Pflanzendecke wurde die gesamte dem Hagerboden aufliegende Moosschicht für sich, und der darunter liegende verhagerte Boden entnommen.

Um ein Vergleichsbild zu erhalten, wurde das Untersuchungsmaterial noch ergänzt durch Proben von Normalböden mit gut zersetzter Streudecke. Unter anderem wurde hier auch eine Probe mit den eine gute Zersetzung anzeigenden Pflanzen, Sauerklee und Waldmeister, untersucht.

Zuletzt sei noch erwähnt, daß auch von den unter den drei verschiedenen Zersetzungstypen lagernden Böden, dem Hagerboden, dem Boden unter Rohhumus und unter normal zersetztem Humus, Proben entnommen wurden.

Bevor das Material zur physikalischen und chemischen Untersuchung gelangte, bedurfte es noch einer sorgfältigen mechanischen Reinigung und Vorbereitung. Aus dem lufttrockenen Rohhumus, bezw. Humus wurden alle zufälligen Bestandteile, als da sind: frische, nicht humifizierte Blätter, Nadelstücke, Knospenschuppen, Fruchtkaspeln, vor allen Dingen die Baum- und Pflanzenwurzeln, sowie die herabgefallenen Äste und Borken der jeweiligen Bestandesmitglieder, durch sorgfältiges Herauslesen tunlichst entfernt, sodann von beigemengten Bodenteilchen durch Sieben befreit und ebenso wie die vorgetrockneten Blätter und Nadeln durch Mahlen zerkleinert.

In derselben Weise wurde der lufttrockene Boden von allen zufälligen Bestandteilen, insbesondere von den unvermeidlichen Humusteilchen, tunlichst befreit und durch ein 2 mm-Sieb geschlagen.

Vor Beginn der eigentlichen chemischen Untersuchungen wurden der Rohhumus, der normal zersetzte Humus sowie die Blätter und Nadeln mit einem geeigneten Lösungsmittel ausgezogen, um sie von den Harz- und wachsartigen Bestandteilen zu befreien. Als gutes Lösungsmittel erwies sich eine Mischung von Benzol und Alkohol zu gleichen Raumteilen, welches 50% mehr an Extraktstoffen lieferte, als das versuchsweise angewendete Chloroform. Die Alkohol-Benzol-Auszüge wurden quantitativ im Soxhletschen Extraktions-Apparat ermittelt, während die von Alkohol-Benzol befreiten Rückstände zu folgenden weiteren Bestimmungen dienten:

1. Bestimmung des Wassers durch Trocknen bei 105° in 5 g.
2. Bestimmung der Asche in üblicher Weise durch Verbrennen von 5 g in Platinschalen.
3. Bestimmung des Gesamt-Kohlenstoffes durch Oxydation mit Silberchromat[1]) in 0,5 g.
4. Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs nach Kjeldahl in 2 g.
5. Bestimmung der Pentosane nach Tollens in 2 g.
6. Bestimmung des Methoxylgehaltes nach Zeisel und Fanto in 0,5 g.
7. Bestimmung der Rohfaser mit Glyzerin-Schwefelsäure nach J. König in 3 g.
8. Bestimmung des Säuregehalts bezw. der Austauschazidität nach Daikuhara mit N-Kaliumchloridlösung.

Zu diesem Zweck wurden bestimmte Mengen, in der Regel 10 g, der lufttrockenen Substanz mit 200 ccm N-Kaliumchloridlösung eine Stunde lang geschüttelt und in 100 ccm des Filtrats die Titrationswerte mit 1/10 N-Natronlauge und Methylrot als Indikator ermittelt und auf 100 g der aschefreien Trockensubstanz berechnet.

A. Die Untersuchung der Blätter und Nadeln der Waldbäume.

1. Unterschiede zwischen frischen und verwelkten Blättern.

Die Blätter von Buche, Eiche, Roteiche und Birke ergaben im Mittel in der wasser- und aschefreien bezw. auch alkokol-benzol-auszugfreien Substanz:

Blätter	Alkohol-Benzol-Auszug %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
frische	(4) 14,15	(6) 3,06	(6) 48,40	(6) 26,96	(6) 13,95	(6) 2,06
verwelkte	(4) 13,65	(6) 1,70	(6) 49,42	(6) 30,96	(6) 15,79	(6) 2,48

(Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Anzahl der Proben.)

Abweichungen treten hier nur bei dem Alkohol-Benzol-Auszug auf; während das Verhältnis der frischen und verwelkten Blätter von Eiche

[1]) Vergleiche R. Balks, Landwirtschaftliche Versuchsstationen. 1925. **103**, 248.

und Buche obigen Werten entsprechen, verhält es sich bei den Blättern der Roteiche und Birke gerade umgekehrt und zwar im Mittel 21,17% für frische und 24,48% für die verwelkten Blätter.

Im übrigen sind die Ergebnisse eindeutig. Die grünen Blätter enthalten mehr, fast doppelt soviel Stickstoff bezw. Stickstoffsubstanz, dagegen weniger Kohlenstoff, Rohfaser, Pentosane und Methoxyl als die verwelkten Blätter. Es sammeln sich daher in den letzteren unter Verlust der leichter zersetzlichen Kohlenhydrate die faserigen Bestandteile an. Die Abnahme an Stickstoffverbindungen und leichter löslichen Kohlenhydraten in den verwelkten Blättern erklärt sich wohl nur in der Weise, daß diese, soweit sie nicht durch Regen ausgewaschen wurden, in die Zweige zurückgewandert sind. Dasselbe pflegt man für die Mineralstoffe anzunehmen. Hier sind aber die Mineralstoffe (Asche) in den verwelkten Blättern durchweg etwas höher als in den frischen, grünen Blättern. Das ist wohl darin begründet, daß die Stickstoffverbindungen und löslichen Kohlenhydrate in höherem Grade als die anderen Bestandteile abgenommen haben, infolgedessen eine prozentuale Zunahme nicht nur an Mineralstoffen, sondern auch an Kohlenstoff, Rohfaser, Pentosanen und Methoxyl stattgefunden hat.

Unterschiede zwischen Humussammlern und Humuszehrern.

Ein eindeutiger Unterschied tritt nur im Stickstoffgehalt hervor; so ergab die asche- und extraktfreie Trockensubstanz der Blätter im Mittel:

	Frische	Verwelkte
Humussammler (Buche)	2,84%	1,17%
Humuszehrer (Eiche, Roteiche, Birke) . .	3,22%	1,98%

Hiernach enthalten die Humuszehrer nicht nur mehr Gesamtstickstoff, sondern behalten auch mehr Stickstoff in den verwelkten Blättern als der Humussammler, die Buche. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß dieser höhere Stickstoffgehalt die Zersetzung der organischen Stoffe (des Humus) bei der weiteren Zersetzung unterstützt.

Sonstige eindeutige Unterschiede in der Zusammensetzung der Blätter von Humussammlern und Humuszehrern sind nicht zu erkennen. Von den als Humuszehrer bezeichneten Blättern haben die der Eiche einen gleichen, die der Roteiche und Birke einen höheren Alkohol-Benzol-Extrakt als die Blätter der als Humussammler bezeichneten Buche.

2. Unterschiede zwischen Frühjahrs-, Herbst- und mehrjährigen Nadeln.

Die Untersuchung liefert im Mittel von je 4 Proben folgende Ergebnisse:

Nadeln	In der aschefreien Trockensubstanz	In der asche- und alkohol-benzolauszugfreien Trockensubstanz				
	Alkohol-Benzol-Auszug %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
Frühjahrsnadeln .	24,74	2,23	47,18	38,62	10,48	2,04
Herbstnadeln . .	28,34	2,19	49,02	39,68	9,30	2,35
Mehrjährige Nadeln	26,08	1,77	47,23	38,62	8,87	2,58

Hieraus erhellt folgendes:

a) Der Alkohol-Benzol-Auszug nimmt bei den Herbstnadeln deutlich und bei den mehrjährigen etwas zu;

b) der Stickstoffgehalt der Frühjahrs- und Herbstnadeln ist im wesentlichen gleich; dagegen ist er deutlich geringer bei den mehrjährigen Nadeln;

c) der Kohlenstoff- und Rohfasergehalt der Herbstnadeln ist gegenüber den Frühjahrs- und mehrjährigen Nadeln offensichtlich höher;

d) der Pentosangehalt ist bei den Frühjahrsnadeln am höchsten; bei den Herbst- und mehrjährigen Nadeln deutlich niedriger, während sich der Methoxylgehalt gerade umgekehrt verhält.

Unterschiede zwischen Humussammlern und Humuszehrern bei Nadelholz.

Von den Nadelholzarten werden besonders die Kiefer, ferner die Fichte zu den Humussammlern, die Sitkafichte zu den Humuszehrern gerechnet. Sie lieferten für den Alkoholbenzol-Auszug folgende Unterschiede:

Nadeln	Kiefer %	Fichte %	Sitkafichte %
Frühjahrsnadeln . .	27,96	22,30	20,76
Herbstnadeln . . .	30,59	27,70	24,47
Mehrjährige Nadeln .	27,58	25,63	23,49

Die Kiefernnadeln weisen daher in allen drei Altersstufen einen höheren Harzgehalt auf und es mag hiermit die langsamere Verwesung gegenüber den anderen Nadeln zusammenhängen (vergl. auch unter Rohhumus). Auch die Nadeln der Fichte sind im Harzgehalt etwas höher als die der Sitkafichte. Für die sonstigen Bestandteile traten bei den untersuchten Nadelarten keine eindeutigen Unterschiede hervor.

Unterschiede zwischen Blättern und Nadeln.

Um die Unterschiede in der Zusammensetzung der Blätter und Nadeln noch deutlicher zu erkennen, mögen hier die Ergebnisse je nach der Wachstumszeit nochmals zusammengestellt werden, nämlich:

Art der Belaubung	In der aschefreien Trockensubstanz	In der asche- und alkohol-benzolauszugfreien Trockensubstanz				
	Alkohol-Benzol-Auszug %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
a) Frischer (grüner) bzw. Frühjahrszustand.						
Grüne Blätter . .	(4) 14,15	(6) 3,09	(5) 48,49	(6) 26,96	(4) 12,86	(6) 2,06
Frühjahrsnadeln .	(3) 27,79	(4) 2,21	(4) 47,18	(4) 38,26	(4) 10,48	(4) 2,04
b) Verwelkter Zustand bei den Blättern und Herbstnadeln sowie mehrjährige Entwicklung bei den Nadeln.						
Verwelkte Blätter .	(4) 13,65	(6) 1,71	(5) 49,60	(6) 29,59	(4) 15,29	(6) 2 48
Herbstnadeln . .	(4) 29,71	(4) 2,03	(4) 49,03	(4) 39,68	(4) 9,30	(4) 2,35
Mehrjährige Nadeln	(4) 28,02	(4) 1,52	(4) 47,23	(4) 38,62	(4) 8,87	(4) 2,56

Hiernach enthalten die Nadeln in jeder Entwickelungszeit nahezu doppelt soviel Benzol-Alkohol-Auszug und fast $^1/_3$ mehr Rohfaser als die Blätter; ferner im Alterszustand weniger Stickstoff als diese. Gerade die beiden ersten Umstände, besonders der höhere Gehalt an alkoholbenzollöslichen Stoffen, können recht wohl die Ursache sein, daß die Nadeln als Abfall im allgemeinen weniger schnell verwesen als die Blätter. Die Nadeln werden infolge des geringeren Umfanges und des höheren Harzgehaltes beim Lagern fester zusammenhaften und der Luft, bezw. dem Sauerstoff der Luft weniger leicht Zutritt gestatten, daher schwerer verwesen, als die locker lagernden und an Extraktstoffen ärmeren Blätter.

Der Kohlenstoff- und Pentosangehalt der Blätter ist etwas höher als bei den Nadeln. Aus diesen Unterschieden lassen sich indes wohl keinerlei Schlüsse auf die größere bezw. geringere Verwesungsfähigkeit der beiden Baumabfälle schließen.

Auch im Aschen- und Kalkgehalt der letzteren treten keinerlei wesentliche und eindeutige Unterschiede hervor.

B. Zusammensetzung der Waldhumussorten.

Nach den analytischen Belegen verläuft die Zersetzung in den Schichten der einzelnen Rohhumusarten durchweg in derselben Richtung; es ist daher zur Gewinnung einer besseren Übersicht gestattet, aus den Ergebnissen der zusammengehörigen Waldhumusarten das Mittel zu nehmen. Dort, wo der Waldhumus aus gleichen Blättern, bezw. Nadeln besteht, mögen auch die Ergebnisse der Untersuchung von verwelkten Blättern bezw. mehrjährigen Nadeln hinzugefügt werden, um einen Überblick der Zersetzung bezw. Verwesung von Anfang an nach dem Abfall von den Bäumen zu gewähren (siehe Tabelle 18).

1. Verhalten von Rohhumus.

Hiernach treten zwischen den einzelnen Arten Rohhumus (von Laub-, Nadelholz und Mischwald) keine ausgeprägten eindeutigen Beziehungen auf, wohl aber verhalten sich die einzelnen Bestandteile der organischen Substanz verschieden, nämlich:

1. Die Extraktstoffe (Alkohol-Benzol-Auszug) zersetzen sich im Anfang verhältnismäßig schnell, bleiben dann aber lange auf einem mäßigen Gehalt bestehen, nehmen also in späteren Lagerungsstufen nur in geringerem Grade ab. Das gilt auch von dem in den Nadeln enthaltenen höheren Extraktgehalt, denn er ist in den älteren Rohhumusschichten von Nadelholz nur unwesentlich höher als im Rohhumus von Laubholz,

2. der Säuregehalt (Verbrauch an ccm 1/10 N.-NaOH[1]) zeigt besondere Eigentümlichkeiten; er ist schon in den verwelkten Blättern (besonders Eichenblättern) ziemlich hoch, hält sich dann in den obersten Schichten des Rohhumus einige Zeit auf gleicher Höhe, um später in den unteren Schichten wieder zuzunehmen.

Noch höher ist der Säuregehalt in den ursprünglichen mehrjährigen

[1]) Auch die mit Wasser allein hergestellten Lösungen von Rohhumus wiesen gleich hohe Säuregehalte auf wie die mit Kaliumchlorid hergestellten Lösungen.

Nähere Angaben	Prozentualer Gehalt						Ab- bzw. Zunahme in Prozenten der obersten Schicht					
	wasser- und aschefreie ursprüngliche Substanz		wasser-, asche- und extraktfreier Rückstand				wasser- und aschefreie ursprüngliche Substanz		wasser-, asche- und extraktfreier Rückstand			
	Alkohol-Benzol-Auszug %	Verbrauch an n/10 NaOH für 100 g ccm	Stickstoff %	Pentosane %	Methoxyl %	Kohlenstoff %	Alkohol-Benzol-Auszug %	Verbrauch an n/10 NaOH für 100 g ccm	Stickstoff %	Pentosane %	Methoxyl %	Kohlenstoff %
A. Ergebnisse der Rohhumusuntersuchungen.												
a) Laubhölzer. 1. Buchenrohhumus. (Rohhumusschicht 12—15 cm, Mittelwerte aus drei Proben, Bagno und Ostbevern.)												
Verwelkte Blätter .	13,39	14,85	1,17	14,03	3,22	49,81	—	—	—	—	—	—
1. Rohhumusschicht.	6,23	—	1,80	14,50	3,04	49,41	100	100	100	100	100	100
2. Schicht	4,65	14,10	2,20	12,24	2,80	50,08	75	95	122	84	92	101
3. Schicht	5,12	39,02	2,26	9,61	2,80	53,03	82	263	126	66	92	107
4. Schicht	5,45	38,51	2,58	8,13	3,05	53,96	84	256	143	58	100	109
2. Eichenrohhumus. (Eine Probe, Bagno).												
Verwelkte Blätter .	13,91	31,75	1,72	15,12	2,46	52,29	—	—	—	—	—	—
1. Schicht	6,97	31,89	2,02	13,05	3,10	52,30	100	100	100	100	100	100
2. Schicht (ziemlich gut zersetzt) . .	5,75	36,86	2,81	9,61	2,41	53,14	82	106	139	74	78	102
b) Nadelhölzer. 1. Fichtenrohhumus. (Eine Probe, Bagno.)												
Mehrjährige Nadeln.	25,63	210,00	1,39	9,70	2,48	47,67	—	—	—	—	—	—
1. Schicht	8,21	38,35	2,13	8,96	2,24	51,67	100	100	100	100	100	100
2. Schicht	6,83	50,38	2,31	7,45	2,62	52,86	83	131	108	83	117	102
3. Schicht	5,45	53,92	2,38	7,20	—	52,34	66	146	112	80	—	101
2. Kiefernrohhumus. (15—20 cm dicke Schicht.) Mittelwerte von 4 Proben, Bagno, Ostbevern und Alten-Rheine.												
Mehrjährige Nadeln.	27,58	52,90	2,06	9,67	2,68	46,88	—	—	—	—	—	—
1. Schicht 0—5 cm .	11,90	35,10	1,73	8,31	2,59	51,24	100	100	100	100	100	100
2. Schicht 5—10 cm	10,21	52,46	1,84	7,10	2,67	52,16	86	151	106	85	103	102
3. Schicht 10—15 cm	10,17	98,85	1,85	5,84	2,83	54,36	85	282	107	70	109	106
4. Schicht 15—20 cm	10,24	136,30	1,83	3,76	3,49	54,26	86	388	106	45	135	106
c) Mischbestände. 1. Kiefer, Weißtanne und Faulbaum. (Ostbevern, eine Probe.) Die Dicke der Rohhumusschicht beträgt 25 cm; die erste Schicht besteht aus unzersetzten Nadeln mit Moos und Vogelmiere durchsetzt.												
1. Schicht	10,84	33,85	1,94	8,99	2,61	49,52	100	100	100	100	100	100
2. Schicht	7,95	33,98	2,02	7,33	2,74	51,40	73	100	104	81	105	104
3. Schicht	6,23	65,52	2,18	7,08	3,40	52,99	57	194	112	79	130	107
4. Schicht	6,05	154,4	2,12	(8,72)	(2,62)	54,72	56	453	109	(97)	(100)	111
2. Mittelwerte von 3 verschiedenen Proben. a) Birke und Roteiche; b) Kiefer und Eiche; c) Kiefer und Birke.												
Gesamte Decke . .	9,28	25,12	2,59	9,13	3,24	51,09	—	—	—	—	—	—
B. Ergebnisse über die Untersuchung des normal zersetzten Humus.												
a) Laubhölzer. 1. Buche, Mittelwerte von 4 Proben, davon eine mit Sauerklee und Waldmeister. 2. Birke.												
1. Buche	4,92	5,74	2,24	12,90	—	50.29	—	—	—	—	—	—
2. Birke.	8,12	10,48	2 95	10,63	—	47,90	—	—	—	—	—	—
b) Nadelholz. Sitkafichte, eine Probe aus Ostbevern.												
Sitkafichte	7,88	32,60	1,97	8,21	1,73	59,56	—	—	—	—	—	—

Nadeln, besonders bei der Fichte; hier nimmt er aber, ebenso wie der Harzgehalt beim Lagern in den obersten Schichten des Rohhumus schnell ab, hält sich einige Zeit auf mäßiger Höhe, steigt dann wieder, um in der untersten ältesten, auf dem Boden liegenden Schicht wieder recht hoch zu werden.

Hiernach werden die in den oberen noch locker lagernden Schichten des Rohhumus vorhandenen und sich bildenden organischen Säuren noch verhältnismäßig schnell oxydiert; ein Teil derselben wird auch durch das noch durchdringende Regenwasser in die unterste Schicht übergeführt und sammelt sich hier an, weil der nötige Luftzutritt gehemmt ist und nicht genügend Regenwasser durchtreten kann, um die Säuren in den Boden überzuführen.

3. Der Stickstoffgehalt hält sich in den Rohhumusschichten in Prozenten der wasser-, asche- und extraktfreien Substanz auf gleicher Höhe und nimmt sogar in den untersten Schichten prozentual zu, ein Beweis, daß das Bakterien-Leben, besonders das der denitrifizierenden Bakterien gehemmt ist.

4. Der Kohlenstoff-Gehalt nimmt mit dem Alter der Rohhumusschichten in Prozenten der wasser-, asche- und extraktfreien Substanz regelmäßig zu. Das hängt damit zusammen, daß, wie die Tabellen zeigen, die Kohlenhydrate — hier vertreten durch die Pentosane — stetig abnehmen, dagegen die kohlenstoffreicheren Stickstoffverbindungen und Lignine (methoxylliefernde Stoffe) entweder gleichbleiben oder prozentual sogar zunehmen.

Die Zersetzung der organischen Stoffe im Rohhumus sowohl von Laubholz als auch von Nadelholz und Mischwald verläuft daher in derselben Weise wie im lagernden Torf und wie bei der Zersetzung des Humus im Boden[1]).

II. Verhalten von gut zersetztem Humus.

Der gutzersetzte Humus unterscheidet sich vom Rohhumus

1. durch einen viel niedrigeren Säuregehalt bei gleichem Extraktgehalt (Alkohol-Benzol-Auszug),

2. durch niedrigen Kohlenstoffgehalt bei mehr oder weniger gleichem Stickstoffgehalt.

3. Die in den ursprünglichen Blättern auftretenden Unterschiede im Gehalt an Bestandteilen erhalten sich auch im gut zersetzten Humus. Wie die Birkenblätter, so ist auch der zersetzte Birkenhumus reicher an Extrakt und ärmer an Pentosanen als Buchenblätter und Buchenhumus. Der gut zersetzte Humus der Sitkafichte zeichnet sich ebenso wie die Nadeln durch höheren Extrakt und niedrigeren Stickstoff- und Pentosangehalt vor dem Humus und den Blättern der Buche aus.

Im übrigen findet hier eine fortgesetzte lebhafte Oxydation der vorhandenen und entstehenden Säuren statt und verläuft die Zersetzung der sonstigen organischen Bestandteile gleichmäßiger als beim Rohhumus.

[1]) Vergl. die Arbeiten von Dr. R. Balks, Landw. Versuchsstationen Band 103 und Dr. M. Bach, ebendort, Band 104.

III. Verhalten der Moosdecke.

Die Moosdecke hat im ursprünglichen Zustande, ebenso wie die verwesten Blätter und mehrjährigen Nadeln einen verhältnismäßig hohen Säuregehalt[1]); im Stickstoffgehalt gleicht sie den letzten Abfällen, während der Kohlenstoffgehalt wesentlich geringer ist als bei diesen. Wahrscheinlich übt der natürliche Säuregehalt der Moosdecke beim Auswaschen durch Regen eine ähnliche Wirkung auf den unterliegenden Boden aus wie Heidehumus und Rohhumus (S. 8). Auch wird die filzige Moosdecke den Luftzutritt zum Boden, wenn auch nicht ganz verhindern, so doch beeinträchtigen, und erst einer Zersetzung und Verwesung anheimfallen, wenn sie gelockert und abgehoben wird.

C. Zusammensetzung der Böden unter der Decke der verschiedenen Waldhumussorten.

Von verschiedenen Seiten wird auch dem Boden ein Einfluß auf die Zersetzung des Waldhumus und die Bildung von Rohhumus zugeschrieben. Deshalb wurden auch von den unter den verschiedenen Humusdecken liegenden Böden in 0—15 cm und größerer Tiefe gute Durchschnittsproben entnommen und einer näheren Untersuchung unterworfen. Weiter aber schenkte ich den Untergrundverhältnissen an den betreffenden Stellen, dem Vorkommen von Ortstein bzw. einer wasserundurchlassenden Schicht, dem Grundwasserstand eine besondere Aufmerksamkeit. Zu letzterem Zweck wurde der Untergrund entweder durch Einschläge aufgedeckt oder durch Bohrungen untersucht. Für die Feststellung der Zusammensetzung der Bodenproben wurden folgende Untersuchungen ausgeführt:

1. Physikalische Untersuchung[2]).

a) Bestimmung des Porenvolumens, d. h. der Raumteile, die entweder die festen Bodenteilchen oder die eingeschlossene Luft, bezogen auf 100, einnehmen. Es wird gefunden, indem man das scheinbare durch das wirkliche spezifische Gewicht dividiert.

b) Bestimmung der wasserhaltenden Kraft oder Wasserkapazität. Es ist diejenige Menge Wasser, welche ein Boden in sich aufzunehmen und eine gewisse Zeit in sich zurückzuhalten imstande ist. Die Bestimmungen wurden in Zylinderröhren nach Wahnschaffe ausgeführt.

c) Mechanische Analyse bzw. Bestimmung der Korngrößen im Kühnschen Schlämmzylinder nach dem abgekürzten Atterbergschen Absetzverfahren[3]).

2. Chemische Bestimmungen.

a) Bestimmung des hygroskopisch gebundenen Wassers nach dem üblichen Verfahren durch Trocknen bei 105° in 10 g.

---

[1]) Die Moosdecke ergab in der aschefreien Trockensubstanz 4,69 % Alkohol-Benzolauszug und 58,63 ccm n/10 NaOH (Säure für 100 g), in der asche- und extraktfreien Trockensubstanz 2,27 % Stickstoff, 45,16 % Kohlenstoff, 8,09 % Pentosane und 1,92 % Methoxyl.

[2]) Nach den Vorschriften von J. König, Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe, Berlin 1923.

[3]) A. Atterberg, Internationale Mitteilungen für Bodenkunde 1912; 2, 312.

b) Bestimmung des Glühverlustes durch Verbrennen in 10 g.

c) Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration nach dem kolorimetrischen Verfahren von J. Hasenbäumer. Zu diesem Zweck wurden 40 g Boden mit 100 ccm N-Kaliumchloridlösung eine Stunde lang geschüttelt und im Filtrat mit Methylrot als Indikator der Säuregrad (P_H) ermittelt. Außerdem wurden 50 ccm des Filtrats zur Bestimmung der Titrationsazidität mit n/10 Natronlauge titriert. (Indikator Methylrot.)

d) Quantitative Bestimmung der in 10%iger Salzsäure löslichen Mineralstoffe.

I. Boden unter verschiedenem Buchenhumus in den gleichen Waldbeständen.

In den 100-jährigen Buchenbeständen „Schlangenbusch" und „Am Forsthaus" im Bagno bei Burgsteinfurt finden sich gleichzeitig Stellen mit Rohhumus, Hagermoosdecke und normal zersetztem Humus. Die örtliche Untersuchung der Humusdecke und der Untergrundverhältnisse lieferte folgende Ergebnisse:

Lage	Boden unter Rohhumus	Boden unter Hagermoosdecke	Boden unter normal zersetztem Humus
Schlangenbusch	Die Dicke der Rohhumusdecke beträgt 10 cm. Ortstein in 35 bis 70 cm Tiefe, mehr oder weniger erhärtet. Grundwasserstand unmittelbar unter dem Ortstein (70 cm tief)	Der Boden besteht bis zu 20 cm aus lehmigem Sand und anschließend aus tonigem Lehm. Keine Ortsteinbildung. Der Grundwasserstand wird von der vorbeifließenden Aa beherrscht (meistens 1,50 m)	Ortstein nicht merklich vorhanden. Grundwasserstand in 85 cm Tiefe
Am Forsthaus	Die Dicke der Rohhumusschicht beträgt 15 cm. Starke Ortsteinschicht in 50 bis 80 cm Tiefe. Grundwasserstand bei 90 cm	Ortsteinschicht in 80 bis 95 cm Tiefe. Grundwasserstand bei 1,20 m	Ortstein nicht vorhanden. Grundwasserstand bei 1,10 m

Die Untersuchung der unter den Humusdecken liegenden Böden in 0—15 cm Tiefe ergab im Mittel der je 2 Proben folgende Werte:

1. Physikalische Untersuchung.

Boden unter	Porenvolumen %	Wasserkapazität %	Mechanische Analyse Korngrößen in mm: 2—1,0 %	1,0—0,5 %	0,5—0,2 %	0,2—0,01 %	0,01—0,002 %	< 0,002 %
Rohhumus	51,3	29,1	0,22	6,75	47,60	37,04	2,12	4,63
Hagermoosdecke	53,0	24,2	0,27	6,08	41,82	33,55	3,28	3,57
Normal zersetztem Humus . .	51,7	26,3	0,35	7,88	47,65	36,05	2,36	4,51

2. Chemische Untersuchung.

Boden unter	Wasser %	Glühverlust %	Wasserstoffionenkonzentration P_H	Titrationsazidität 100 g Boden verbrauchen n/10 NaOH ccm	In 10 % Salzsäure löslich auf 100 g Boden berechnet: F_2O_3 mg	Al_2O_3 mg	P_2O_5 mg	CaO mg	MgO mg	K_2O mg
Rohhumus	1,40	5,30	<4,0	21,5	137,0	575,0	25,5	25,0	47,0	33,0
Hagermoosdecke	0,67	2,27	<4,0	10,5	228,0	569,0	11,5	32,5	35,5	35,5
Normal zersetztem Humus	0,90	2,83	<4,0	7,5	288,0	592,0	38,5	67,5	57,5	41,5

Vorstehende Ergebnisse der Bodenuntersuchungen unter den drei verschiedenen Humusdecken der beiden Waldbestände sind hiernach im wesentlichen gleich; die Böden gehören zu den nährstoffarmen schwach lehmigen Sandböden mit nahezu gleichen Bodengemengteilen.

II. Boden unter verschiedenem Rohhumus in verschiedenen Waldbeständen.

Rohhumus	Lage	Allgemeine Verhältnisse	Untergrundverhältnisse: Ortstein	Untergrundverhältnisse: Grundwasser	Besondere Bemerkungen
Buche	Ostbevern, Wolfsnest Jagen 2	150 bis 180jährige Kultur Rohhumusschicht 15 cm	nicht vorhanden	Bei 50 cm	
Eiche	Bagno, Jagen 11 a, Kösters Weg	40jährige Kultur. Mäßig zersetzt	nicht vorhanden	Bei 1,40 cm	
Fichte	Bagno, Kösters Kamp	47jährige schlechte Kultur. Rohhumusschicht 13 cm.	Geringe Anzeichen in 50 cm Tiefe	Bei 60 cm unmittelmittelbar über blauem Ton	
Kiefer	Fuchshagen bei Burgsteinfurt	40jährige krüppelartige Kultur. Schlechte Zersetzung Rabattenbildung.	Ortstein unter 90 cm Tiefe	Bei 90 cm auf Ortstein	In 25 bis 50 cm Tiefe befindet sich der umgepflügte unzersetzte Heidehumus
Kiefer	Fuchshagen bei Burgsteinfurt	16jähriger Bestand auf dampfgepflügtem Boden.	Ortstein, nicht umgebrochen in 95 cm Tiefe	In 45 cm Tiefe unmittelbar unter der umgebrochenen starken Heidehumusschicht	Tellerwurzelbildung auf dem Heiderohhumus.
Kiefer	Dickebrook im Bagno	90 bis 100jährige Kultur mit Buche u. Eiche als Unterholz, Rohhumusschicht 12 cm.	Ortstein in 50 bis 60 cm Tiefe	Unmittelbar unter Ortstein	Pfahlwurzel der Kiefer geht durch Ortstein. Letzterer hat sich nachträglich gebildet.
Kiefer	Ostbevern Kattmanns Kamp	60jährige Kultur. Rohhumusschicht 20 cm.	Ortstein in 60 bis 70 cm Tiefe	Bei 90 cm	

Der Boden unter dem Rohhumus enthält etwas mehr Humus (Glühverlust) als die anderen beiden Böden; damit steht auch wohl die etwas größere Titrationsazidität und wasserhaltende Kraft im Zusammenhang. Dieser Boden ist daher wohl von der Humussäure mehr infiltriert worden als die beiden anderen. Dafür spricht auch der geringe Gehalt an den auswaschbaren Basen, Eisenoxyd, Kalk und Kali; für Magnesia und Phosphorsäure tritt nur gegenüber dem Boden unter normal zersetztem Humus eine geringere Menge auf. Das Aluminiumhydroxyd wird von der auswaschenden Wirkung der Humussäure verhältnismäßig weniger beeinflußt als das Ferrihydroxyd.

Der Umbruch des Bodens in Fuchshagen hat nachteilig gewirkt, weil durch den Umbruch des Bodens der Rohhumus nach unten und der Ortstein zum Teil nach oben gekommen ist. Die Wurzeln vermögen die Rohhumusschicht nicht zu durchbrechen, verflachen sich und bilden eben die Tellerwurzel, die also infolge des bereits vorhandenen Rohhumus sich bildet. In Dickebrook im Bagno dagegen ging die Pfahlwurzel der Kiefer durch den Ortstein, ein Beweis, daß sich derselbe erst nach der Anpflanzung und der Entwickelung der Kiefer gebildet hat.

Zusammensetzung der Böden (zu II).

An allen Stellen mit Ausnahme im Kiefernbestand in Dickebrook wurden auch Bodenproben in 0—15 cm Tiefe entnommen und mit folgendem Ergebnis untersucht:

1. Physikalische Untersuchung.

Art der Untersuchung	Buche, Ostbevern	Eiche, Bagno	Fichte, Bagno	40jähr. Kiefern, Fuchshagen	16jähr. Kiefern, Fuchshagen	Kiefer, Ostbevern
Porenvolumen % . . .	45,25	48,40	50,97	49,05	44,66	47,14
Wasserkapazität % . . .	42,78	35,99	33,63	24,53	38,75	31,33

2. Chemische Untersuchung.

Boden unter Rohhumus von	Wasser %	Glühverlust %	Wasserstoffionenkonzentration pH	Titrationsazidität 100 g Boden verbrauchen n/10 NaOH ccm	In 10%iger Salzsäure löslich auf 100 g Boden berechnet: Fe_2O_3 mg	Al_2O_3 mg	P_2O_5 mg	CaO mg	MgO mg	K_2O mg
Buche, Ostbevern . . .	2,02	7,43	< 4,0	17,0	139,0	181,0	30,0	60,0	25,0	11,5
Eiche, Bagno	2,31	6,97	= 4,0	6,5	213,0	528,0	21,0	30,0	39,0	16,0
Fichte, Bagno.	1,17	4,95	< 4,0	18,5	357,0	516,0	20,0	45,5	62,0	24,0
Kiefer, Ostbevern . . .	0,74	4,46	< 4,0	8,0	50,0	92,0	14,0	35,0	19,0	6,0
40jährige Kiefern, Fuchshagen	2,52	3,68	< 4,0	27,5	2630,0	1700,0	43,0	50,0	81,0	36,0
16jährige Kiefern, Fuchshagen	2,16	7,05	< 4,0	54,0	—	—	—	40,0	—	—

Die Böden der Kiefernbestände in Fuchshagen können zum Vergleich nicht mit herangezogen werden, da es sich bei ihnen um umgepflügten Heidehumus handelt, wobei der Ortstein zum Teil nach oben gekommen war.

Alle anderen Böden lassen eine deutliche Infiltration durch die Humussäure erkennen; sie sind daher mehr oder weniger verarmt an Mineralstoffen, je nachdem die Infiltration vorangeschritten ist. Parallel hierzu ist die Ortsteinbildung, die am stärksten bei den Böden ist, die die größte Infiltration erfahren haben.

Der Humusgehalt (Glühverlust) ist durchweg hoch zu nennen. Hiermit im Zusammenhang steht die wasserhaltende Kraft, die dem Glühverlust direkt nahezu proportional ist.

III. Boden unter Rohhumus von Mischbeständen.

Es handelt sich überall um Böden aus 0—15 cm Tiefe.

Rohhumus	Lage	Allgemeine Verhältnisse	Untergrundverhältnisse		Besondere Bemerkungen
			Ortstein	Grundwasser	
Birke und Roteiche	Fuchshagen, bei Burgsteinfurt	Rohhumusschicht (3 cm), dampfgepflügter Boden	nicht vorhanden	bei 80 cm	Es handelt sich um Ödlandkultur
Fichte, Pappel, Aspe	Ebendort	Rohhumusschicht (4 cm), dampfgepflügter Boden	desgleichen	bei 1 m	desgleichen
Kiefer, Weißtanne und Faulbaum	Ostbevern, Kattmanns Kamp	65jähriger Bestand. Rohhumus (25 cm)	In 65 bis 90 cm Tiefe	bei 1 m	—

1. Physikalische Untersuchung.

Art der Untersuchung	Birke und Roteiche	Fichte, Pappel und Aspe	Kiefer, Weißtanne und Faulbaum
Porenvolumen in %	52,63	54,92	42,00
Wasserkapazität in %	21,85	22,95	57,06

2. Chemische Untersuchung.

Boden unter Rohhumus von	Wasser %	Glühverlust %	Wasserstoffionenkonzentration PH	Titrationsazidität: 100 g Boden verbrauchen n/10 NaOH ccm	In 10% Salzsäure löslich, auf 100 g Boden berechnet					
					Fe_2O_3 mg	Al_2O_3 mg	P_2O_5 mg	CaO mg	MgO mg	K_2O mg
Birke und Roteiche . . .	1,60	1,89	5,2	0,5	1340,0	440,0	32,0	100,0	73,0	29,0
Fichte, Pappel, Aspe . . .	1,05	2,20	4,0	19,0	486,0	1250,0	19,0	60,0	67,0	28,0
Kiefer, Weißtanne, Faulbaum	3,06	14,32	4,2	41,0	129,0	588,0	70,0	45,0	34,0	15,0

Die beiden ersten Böden aus den Beständen von Fuchshagen lassen deutlich erkennen, daß eine Auslaugung der Mineralstoffe noch nicht im großen Maße stattgefunden hat, was auch das gänzliche Fehlen von Ortstein zur Folge hat. Beide Böden zeigen auch eine geringere Titrationsazidität. Diese Erscheinungen erklären sich aus der verhältnismäßig geringen Rohhumusdecke, die beide Böden tragen.

Der Boden unter Rohhumus von Kiefer, Weißtanne, Faulbaum in Kattmannskamp in Ostbevern zeigt dagegen wieder alle Eigenschaften eines stark infiltrierten Bodens mit der üblichen Ortsteinbildung.

IV. Boden unter Moosdecke (Hagerboden) und normal zersetztem Humus.

Bei dem 80jährigen Buchenbestande in Kösterskamp im Bagno bot sich Gelegenheit, den Unterschied im Wachstum auf Hager- (d. h. mit einer Moosdecke versehenem) Boden und auf Boden mit normal zersetztem Humus zu beobachten. Die örtlichen Untersuchungen ergaben:

Nähere Angaben	Lage	Allgemeine Verhältnisse	Untergrund-Verhältnisse		Besondere Bemerkungen
			Ortstein	Grundwasser	
Buche (Moosdecke) auf Hagerboden	Bagno, Kösters-Kamp Südwestseite	80jährige Kultur, Schlechter Wuchs	in 30—40 cm Tiefe	unmittelbar unter Ortstein	Tellerwurzelbildung. Also vorherige Bildung von Ortstein
Buche (normal zersetzter Boden	Bagno, Kösters-Kamp Nordostseite	80jährige Kultur, im guten Wuchs, keine Rohhumusbildung	nicht vorhanden Lehmiger Sandboden	In 1,50 m Tiefe	Keine Tellerwurzel

Dieser Bestand zeigte sehr anschaulich den Unterschied in seinem Wachstum und seiner Bodenbeschaffenheit, die namentlich durch seine Lage (Himmelsrichtung) bedingt wurde. An der Südwestseite hatte sich infolge der heftigen Sonnenbestrahlung und der zehrenden Winde der ausgeprägteste Hagerboden mit der typischen Moosdecke gebildet, während an der Nordostseite die beste Bodenbeschaffenheit und somit auch der beste Wuchs der Bestandesmitglieder angetroffen wurde.

V. Boden unter normal zersetztem Humus.

Außer an den unter I S. 21 aufgeführten zwei Stellen und außer an vorstehender Stelle unter IV wurden noch an 4 Stellen Bodenproben unter normal zersetztem Humus untersucht, nämlich:

Normal zersetzter Humus	Lage	Allgemeine Verhältnisse	Untergrundverhältnisse		Besondere Bemerkungen
			Ortstein	Grundwasser	
Buche	Bagno, am Steinbruch	100jähr. Buchen Lehmboden	Kein Ortstein Steinbank mit einer 2 cm hohen Mergelschicht überlagert	Nach gemachten Erfahrungen in 7—8 m Tiefe	Die Buchen stocken auf der Steinbank

Normal zersetzter Humus	Lage	Allgemeine Verhältnisse	Untergrundverhältnisse		Besondere Bemerkungen
			Ortstein	Grundwasser	
Birke	Fuchshagen	40jährige Kultur	Nicht vorhanden	In 100 cm Tiefe	—
Roteiche	Fuchshagen	15—18jährige Kultur im guten Wachstum	Ursprünglicher Ortstein in 60 cm Tiefe wurde beim Dampfpflügen durchbrochen	In 60 cm Tiefe	—
Sitkafichte	Ostbevern, Kattmanns-Kamp	20—25jährige Kultur. Sehr gute Zersetzung	In 50 cm Tiefe Raseneisenstein Klumpige Aggregate	In 45 cm Tiefe	Vorkultur Wiese

Die Untersuchung der 0—15 cm Tiefe entnommenen Bodenproben lieferten folgende Ergebnisse:

1. Physikalische Untersuchung.

Art der Untersuchung	Buche	Birke	Roteiche	Sitkafichte
Porenvolumen	52,80	50,78	57,63	46,64
Wasserkapazität	26,99	25,99	20,40	43,49

2. Chemische Untersuchung.

Boden unter Humus von	Wasser %	Glühverlust %	Wasserstoffionenkonzentration P_H	Titrationsazidität 100 g verbrauchen n/10 NaOH ccm	In 10% Salzsäure löslich auf 100 g Boden berechnet					
					Fe_2O_3 mg	Al_2O_3 mg	P_2O_5 mg	CaO mg	MgO mg	K_2O mg
Buche	2,25	3,63	4,0	14,0	—	—	—	80,0	—	—
Birke	1,78	3,00	4,0	24,0	1050,0	1060,0	27,0	55,0	77,0	25,0
Roteiche	0,44	1,43	4,5	1,5	625,0	360,0	26,0	75,0	50,0	14,0
Sitkafichte	0,96	6,09	4,0	13,0	2700,0	1260,0	122,0	80,0	80,0	29,0

Der verhältnismäßig hohe Gehalt an Eisenoxyd und Tonerde hängt wohl bei dem Boden unter der Roteiche mit dem Umbrechen des Ortsteins, bei dem Boden unter der Sitkafichte mit dem Vorkommen von Raseneisenstein zusammen. Auch ist bei diesem Boden der Gehalt an salzsäurelöslichen Nährstoffen (Phosphorsäure, Kalk, Magnesia, Kali) höher als bei den Böden unter Rohhumus. Um die Unterschiede noch deutlicher zu zeigen, mögen hier auch die Mittelwerte der in Salzsäure löslichen Mineralstoffe der verschiedenen Bodenarten folgen:

Boden unter	Titrationsazidität 100 g Boden verbrauchen n/10 NaOH	In 10 % Salzsäure löslich, auf 100 g Boden berechnet					
		Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O
	ccm	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Rohhumus (5)	30,08	118,0	402,0	33,0	38,0	30,0	19,0
Moosdecke (Hagerboden) .	8,92	177,0	443,0	13,0	43,0	32,0	24,0
Normal zersetztem Humus(5)	8,38	990,0	773,0	50,0	69,0	65,0	32,0

Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Anzahl der Proben.

Diese Unterschiede, so gering sie auch teilweise sind, zeigen dennoch deutlich, daß der Boden unter normal zersetztem Humus den höchsten Gehalt an löslichen Mineralstoffen besitzt. Daß der Boden unter der Moosdecke höhere Werte zeigt als der Boden unter Rohhumus, bestätigt aufs neue die Tatsache, daß der Hagerboden und der Boden unter normal zersetztem Humus oft gleiche Mengen von Mineralstoffen besitzen, sofern der Hagerboden durch eine vormalige Rohhumusdecke nicht das gleiche Schicksal erfahren hat wie der Boden unter Rohhumus. Hierfür spricht auch der nur etwas höhere Säuregehalt des Hagerbodens, während er beim Boden unter Rohhumus fast viermal so hoch ist. Dieser letztere Boden zeigt auch mit Ausnahme von Phosphorsäure den geringsten Gehalt an allen Basen.

Die Ursachen der Entstehung des Rohhumus.

1. Der Rohhumus findet sich, wie wir gesehen haben, sowohl in Laubholz, Nadelholz als auch in Mischwald.

2. Die Zersetzung des Waldhumus verläuft unter Einwirkung von Kleinlebewesen in ähnlicher Weise, wie bei der Zersetzung und Verwesung der organischen Stoffe in Wiesen- und Ackerböden; sie wird unterstützt durch Wärme und einen geregelten Zutritt von Licht, Luft und Regen. Sind diese Förderungsmittel gehemmt oder treten sie zu einseitig stark auf, so wird auch die Zersetzung der Baumabfälle dadurch gestört; es findet entweder eine Anhäufung von organischen Stoffen, eine Rohhumusbildung statt oder auch das Gegenteil davon, eine Entblößung des Bodens von Humus durch zu rasche Zersetzung bezw. Verwesung unter gleichzeitiger Verwehung des Baumabfalls, die Verhagerung des Bodens unter Bildung einer Kleinflora, z. B. Moosdecke.

3. Der Rohhumus pflegt in Nadelholz-, besonders in Kiefernwaldungen häufiger als in Laubholzwaldungen aufzutreten. Das hat z. T. seine Ursache darin, daß die Nadeln einen höheren Harzgehalt besitzen, sich wegen des geringeren Umfanges fester zusammenlegen, sodaß sie bei längerem Lagern, wenn Säuren und Harz sich im Anfange auch verhältnismäßig schnell zersetzen, doch später dem Luftzutritt einen größeren Widerstand entgegensetzen, so daß die Zersetzung langsamer verläuft als beim Laubholzhumus. Das häufigere Auftreten von Rohhumus in Nadelholz (Kiefer-)Waldungen kann aber auch wohl z. T. darauf zurückgeführt werden,

daß die Kiefern vorwiegend in solchen Gegenden und an solchen Stellen angebaut werden, deren klimatische und örtliche Verhältnisse für die Bildung von Rohhumus besonders günstig sind.

Ob der etwas geringere Gehalt an Harz in der Sitkafichte ihre angeblich schnellere Zersetzung begünstigt, so daß sie gegenüber der Kiefer und Fichte als Humuszehrer bezeichnet werden kann, muß einstweilen dahingestellt bleiben.

4. Ebenso konnte als einziger deutlicher Unterschied zwischen der Zusammensetzung der Blätter von Eiche, Roteiche und Birke als Humuszehrern der etwas höhere Gehalt an Stickstoff gegenüber den Blättern der Buche als Humussammler festgestellt werden. Wenn letztere leichter und mehr Rohhumus bilden sollen als erstere Blätter, so wird zweifellos die verschiedene mechanische Struktur derselben auch mit von Einfluß sein.

5. Der Mischwald schützt allein auch nicht vor Bildung von Rohhumus. Es ist allerdings richtig, daß der Mischwald einen geregelteren Zutritt von Licht, Luft und Regen gewährleistet, daß sich also bei ihm eher als bei geschlossenem Kronendach von nur Laubholz- oder nur Nadelholz-Waldungen ein zu großer oder zu geringer Zutritt von Licht, Luft und Regen vermeiden läßt; es ist auch anzunehmen, daß der gemischte Baumabfall (Blätter und Nadeln) eine lockere und leichter angreifbare Masse bildet, als reiner Laub- und Nadelholzabfall, aber ein Allheilmittel bildet der Mischwald nicht. Auch hier kann, wie wir in drei Fällen festgestellt haben, unter sonst ungünstigen Verhältnissen Rohhumus auftreten.

6. Ebensowenig kann in diesen Fällen der unter den Humusarten liegende Boden an sich als Ursache der Rohhumusbildung angesehen werden. Der unmittelbar unter ihm liegende Boden enthält zwar durchweg weniger in Salzsäure lösliche Bestandteile, mehr Humus und auch mehr Säure als der Boden unter der Moosdecke des Hagerbodens und unter normal zersetztem Humus, zweifellos deshalb, weil eine Infiltration von Humussäure aus dem Rohhumus in den Boden stattgefunden und auswaschend gewirkt hat, aber diese Unterschiede in der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Böden, die sämtlich als geringhaltig und kalkarm bezeichnet werden müssen, sind so gering, daß darin nicht die wesentliche Ursache der verschiedenen Zersetzung des Baumabfalles gesucht werden kann.

7. Dagegen tritt ein deutlicher Unterschied in der Beschaffenheit der Untergrundverhältnisse der Böden auf. In acht von zehn Fällen fand sich unter dem Rohhumus Ortstein bzw. ein hoher Grundwasserstand; in einem von vier Fällen wurde auch unter Hagerboden Ortstein vorgefunden; dagegen waren die Untergrunde unter normal zersetztem Humus an allen hier bis jetzt untersuchten Stellen frei von Ortstein und hatten auch durchweg einen tieferen Grundwasserstand.

Dem Ortstein bzw. einer wasserundurchlassenden Schicht (sei es Ortstein, Ton- oder Gesteinsschicht) und einem hohen Grundwasserstande

dürfte aber ein wesentlicher Einfluß auf die Bildung von Rohhumus zuzuschreiben sein. Denn die wasserundurchlassende Schicht und ein stetig hoher Grundwasserstand verhindern einen regelmäßigen Luftwechsel zwischen Humusschicht und Boden. Das Regenwasser wird von der Humusschicht wegen ihrer großen Wasserkapazität reichlich aufgenommen und festgehalten; es dringt davon nur wenig in den unten abgesperrten Boden und hat also auch nur wenig Luftnachtritt im Gefolge. Der auflagernde Humus bleibt wegen mangelnden Luftzutritts unzersetzt und sammelt sich an. Gehören doch alle Böden, die an hohem Grundwasser leiden, zu den sog. untätigen Böden, die einen hohen Säuregehalt annehmen. Und wenn das bei Wiesen- und Ackerböden der Fall ist, weshalb sollen dann die Wälder, deren Bäume doch viel tiefere Wurzel in den Boden treiben als Wiesengräser und Ackerpflanzen, hiervon eine Ausnahme bilden? Finden wir doch auch den Rohhumus vorwiegend in Niederungen und regenreichen Gebieten. Möglicherweise hat man bei der ursprünglichen Anlage der Forsten auf die Untergrundverhältnisse zu wenig Rücksicht genommen und auch wegen mangelnder Vorflut und Mittel keine genügende Entwässerung vornehmen können; möglicherweise ist auch die ursprünglich genügende Entwässerung durch spätere Ereignisse gestört worden.

Jedenfalls scheint dieser Umstand bei Neuanlagen von Forsten oder bei Neuaufforstung von durch Rohhumus verwüsteten bzw. verödeten Waldböden der Beachtung wert zu sein. Es dürfte in letzterem Falle nicht genügen den Rohhumus, sei es durch Abfuhr, sei es durch Aufwerfen in Wällen bzw. Haufen zu entfernen und die frei gelegten Streifen neu zu bepflanzen; man wird auch gleichzeitig für eine genügende Entwässerung und eine Durchbrechung einer etwa vorhandenen Ortsteinschicht bzw. wasserundurchlassenden Schicht, wenn diese in Niederungen in einer Tiefe von 1,0—1,5 m sitzen, Sorge tragen müssen. Die Durchbrechung muß an tunlichst nahe gelegenen Stellen so tief und so umfangreich vorgenommen werden, daß steigendes wie fallendes Grundwasser ohne wesentliche Hindernisse hindurchtreten kann. Auf diese Weise dürfte dann auch in vielen Fällen der Ortstein selbst allmählich zersetzt und ganz beseitigt werden. Sonst dürfte es, selbst bei einem Mischwald, immer wieder zu einer Bildung von Rohhumus kommen.

8. Außer dieser indirekten schädlichen Wirkung, nämlich die Bildung von Rohhumus zu befördern, hat eine wasserundurchlassende Schicht (sei es Ortstein, sei es Ton- oder Gesteinsbank) in den Waldungen noch direkt schädliche Wirkungen. Einerseits kommt es hier zur Bildung der schon oben erwähnten Tellerwurzeln, die sich bei allen Pfahlwurzeln bilden, sobald sie die wasserundurchlassende saure Bodenschicht erreichen. Andererseits wird, wenn der Anstieg des Grundwassers nur bis zu dieser Schicht erfolgt, und den über dieser wurzelnden Gewächsen lediglich nur die geringe Menge der durch die Niederschläge entstehenden Sickerwässer zur Verfügung steht, diese bald von den Gewächsen verbraucht werden und ihnen in der Hauptwachstumszeit, im Sommer, fehlen.

Die vorstehenden Untersuchungen wurden in der landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster i. W. ausgeführt.

Es ist mir ein Bedürfnis, dem Leiter der Versuchsstation Herrn Prof. Dr. A. Bömer für sein Wohlwollen und weitgehendes Entgegenkommen aufrichtig zu danken.

Ganz besonderen Dank schulde ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. J. König, auf dessen Anregung und unter dessen Leitung die vorliegende Arbeit entstand, für seine selbstlose Unterstützung.

Aufrichtig dankbar bin ich auch Herrn Dr. J. Hasenbäumer für seine freundliche Unterstützung mit Rat und Tat.

Analytische Belege.

Frische und abgestorbene Blätter und Nadeln.

1. In der lufttrockenen Substanz.

A. Blätter.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Blätter und Nadeln			In dem Rückstand von Alkohol-Benzolauszug							
		Wasser %	Alkohol-Benzolauszug %	Asche %	Wasser %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %	Asche %	Kalk %
	a) Humussammler (Buche).											
69	Frisches Buchenlaub.											
	Bagno, den 7. 6. 26 . .	9,60	10,37	4,74	7,48	2,55	42,04	23,85	13,95	1.66	5,06	1,22
111	Verwelkte Blätter.	5,83	10,38	5,54	8,88	0,85	41,81	—	—	2,67	5,87	1,20
	Bagno, den 19. 10. 26 .				10,38			30,72	12,85			
98	Frische Blätter.											
	Ostbevern, den 27. 7. 26	3,83	14,15	4,70	7,75	2,39	42,31	27,38	14,21	2,26	5,20	1,40
116	Verwelkte Blätter.	6,88	12,88	6,52	7,02	—	43,02	29,33	15,27	2,82	4,76	1,24
	Ostbevern, den 5. 11. 26				8,62	1,11						
	b) Humuszehrer.											
	1. Eiche.											
68	Frische Blätter.											
	Bagno, den 7. 6. 26. . .	9,53	12,51	4,52	6,91	3,23	42,65	22,33	12,64	1,81	5,52	1,09
110	Verwelkte Blätter.	6,70	12,02	5,44	8,50	—	—	—	13,33	2,01	5,85	1,55
	Bagno, den 19. 10. 26. .				10,13	1,27	42,26	23,40				
99	Frische Blätter.											
	Ostbevern, den 27. 7. 27	7,00	12,84	4,22	8.24	2,68	41,85	22,93	10,92	1,68	4,70	1,48
117	Verwelkte Blätter.	7,16	12.36	4,22	10,20	—	42,83	—	12,53	2,19	4,44	1,20
	Ostbevern, den 5. 11. 26				8,10	1,73		27,77				
	2. Roteiche.											
73	Frische Blätter.											
	Fuchshagen, den 20. 6. 26	4,40	18,05	3,96	10,24	2,64	41,20	21,50	11,40	1,41	4,34	0,79
114	Verwelkte Blätter.	4,23	21,77	4,56	9,48	1,40	41,47	23,43	15,28	2,28	5,14	1,86
	Fuchshagen, den 3. 11. 26				9,33							
	3. Birke.											
72	Frische Blätter.	5,66	20,45	3,56	10,19	2,40	41,96	—	9,43	—	4,25	1,19
	Fuchshagen, den 20. 6. 26				12,18			21,38		1,86		
113	Verwelkte Blätter.	5,53	23,18	3,82	7,76	—	43,23		11,40	2.05	4,56	1,32
	Fuchshagen, den 3. 11. 26				9,40	2,40		24,70				

2. In der wasser- und aschefreien Substanz.

A. Blätter.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Substanz: Alkohol-Benzol-Auszug %	Im Rückstand von Alkohol-Benzol-Auszug: Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
	a) Humussammler (Buche).						
69	Frische Blätter. Bagno, den 7. 6. 26	12.11	2,92	48,07	27,71	15,95	1,90
111	Verwelkte Blätter. Bagno, den 19. 10. 26. . . .	11,71	1,00	49,04	36,07	15,32	3,13
98	Frische Blätter. Ostbevern, den 27. 7. 26. . .	15,47	2,75	48,60	31,45	16,32	2,60
116	Verwelkte Blätter. Ostbevern, den 5. 11. 26. . .	14,87	1,33	50,58	34,42	17,92	3,31
	b) Humuszehrer.						
	1. Eiche.						
68	Frische Blätter. Bagno, den 7. 6. 26	14,56	3,69	48,75	25,50	14,43	2,07
110	Verwelkte Blätter. Bagno, den 19. 10. 26. . . .	13,68	1,48	49,34	27,53	15,56	2,34
99	Frische Blätter. Ostbevern, den 27. 7. 26. . .	14,46	3,08	48,07	26,34	12,54	1,93
117	Verwelkte Blätter. Ostbevern, den 5. 11. 26. . .	14,14	1,97	50,18	31,68	14,68	2,57
	2. Roteiche.						
73	Frische Blätter. Fuchshagen, den 20. 6. 26 . .	19,70	3,09	48,23	25.17	13,35	1,65
114	Verwelkte Blätter. Fuchshagen, den 3. 11. 26 . .	23,87	1,64	48,89	27,45	17,88	2,39
	3. Birke.						
72	Frische Blätter. Fuchshagen, den 20. 6. 26 . .	22,53	2,83	49,50	25,57	11,12	2,25
113	Verwelkte Blätter. Fuchshagen, den 3. 11. 26 . .	25,08	2,71	49,32	28,68	13,13	2,34

Frische und abgestorbene Blätter und Nadeln.

1. In der lufttrockenen Substanz.

B. Nadeln.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Blätter u. Nadeln			In dem Rückstand von Alkohol-Benzol-Auszug							
		Wasser	Alkohol-Benzolauszug	Asche	Wasser	Stickstoff	Kohlenstoff	Rohfaser	Pentosane	Methoxyl	Asche	Kalk
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	a) Humussammler.											
	1. Fichte.											
67	Frühjahrsnadeln.											
	Bagno, den 7. 6. 26 . .	12.28	18,79	3,44	10,22	1,88	41,03	31,30	8,03	1,66	4,18	0,69
112	Herbstnadeln.				7,95	2,04	41,96	33,48	—	—	5,82	
	Bagno, den 19. 10. 26 .	2,68	25,55	5,08	8,65				7,95	1,97		1,29
66	Mehrjährige Nadeln											
	Bagno, den 7. 6. 26 . .	9,43	22,13	4,22	10,33	1,18	40,03	29,88	7,28	2,10	5,05	2,01
	2. Kiefer.											
70	Frühjahrsnadeln.											
	Bagno, den 20. 6. 26. .	4,18	22,04	3,88	7,42	1,97	42,04	35,95	9,56	1,93	4,08	0,67
115	Herbstnadeln.				8,61	1,67	44,00	36,62	7,68	—	2,85	0,51
	Bagno, den 3. 11. 26. .	3,23	27,81	2,16	7,90					2,19		
71	Mehrjährige Nadeln											
	Bagno, den 20. 6. 26. .	4,20	22,31	2,24	8,12	1,48	42.77	35,55	7,55	2,71	2,57	0,59
108	Frühjahrsnadeln.				4,68	—	41,96			1,63	3.02	0,42
	Ostbevern, den 27. 7. 26	5.98	29,30	2,26	10,38	1,97		30,95	11,11			
119	Herbstnadeln.											
	Ostbevern, den 19. 11. 26	3,65	30,69	2,00	8,62	2,37	42,13	32,45	8.91	1,98	2,72	0,44
109	Mehrjährige Nadeln.				5,54	—	41,65	—	9,88	—	3,46	0,64
	Ostbevern, den 27. 7. 26	6,13	28,63	2,40	10,70	2,37		32,22		1,95		
	b) Humuszehrer.											
	Sitkafichte.											
81	Frühjahrsnadeln											
	Ostbevern, den 30. 6 26	9,71	18,11	3,06	11,25	1,71	40,64	35,38	8,21	1,91	3,78	0,54
118	Herbstnadeln.											
	Ostbevern, den 5. 11. 26	6,61	21,99	3,52	8,93	1,93	43,54	36.80	7,67	2,15	4,30	0,85
82	Mehrjährige Nadeln											
	Ostbevern, den 30. 6. 26	8,80	20,40	4,36	11,41	1,26	40,33	36,40	6,31	2,13	4,62	1,28

2. In der wasser- und aschefreien Substanz.

B. Nadeln.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Substanz: Alkohol-Benzolauszug %	Im Rückstand von Alkohol-Benzolauszug: Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
	a) Humussammler.						
	1. Fichte.						
67	Frühjahrsnadeln. Bagno, den 7. 6. 26	22,30	2,20	47,93	36,77	9,36	1,94
112	Herbstnadeln. Bagno, den 19. 10. 26 . . .	27,70	2,39	48,69	38,83	9,28	2,29
66	Mehrjährige Nadeln. Bagno, den 7. 6. 26	25,63	1,39	47,72	47,72	8,60	2,48
	2. Kiefer.						
70	Frühjahrsnadeln. Bagno, den 20. 6. 26 . . .	23,98	2,22	47,50	40,62	10,80	2,18
115	Herbstnadeln. Bagno, den 3. 11 26. . . .	28,65	1,89	49,70	41,36	8,67	2,45
71	Mehrjährige Nadeln. Bagno, den 20. 6. 26 . . .	23,85	1,66	47,89	39,81	8,45	3,03
108	Frühjahrsnadeln. Ostbevern, den 27. 7. 26 . .	31,93	2,38	45,46	35,65	12,04	1,77
119	Herbstnadeln. Ostbevern, den 19. 11. 26 . .	32,53	2,67	47,52	36,30	10,05	2,23
109	Mehrjährige Nadeln. Ostbevern, den 27. 7. 26 . .	31,10	2,60	45,87	36,03	10,88	2,27
	b) Humuszehrer.						
	Sitkafichte.						
81	Frühjahrsnadeln. Ostbevern, den 30. 6. 26 . .	20,76	2,01	47,83	41,64	9,66	2,25
118	Herbstnadeln. Ostbevern, den 5. 11. 26 . .	24,47	2,22	50,18	42,41	8,84	2,48
82	Mehrjährige Nadeln. Ostbevern, den 30. 6. 26 . .	23,49	1,50	48,03	43,35	7,57	2,54

Rohhumus.

1. In der wasserhaltigen Substanz.

A. Laubhölzer.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Blätter und Nadeln				In dem Rückstand von Alkohol-Benzolauszug							
		Wasser %	Alkohol-Benzolauszug %	Asche %	Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	Wasser %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Methoxyl %	Asche %	Pentosane %	Kalk %
	Verwelkte Buchenblätter	6,35	11,63	6,03	13	8,73	0,95	42,41	30,04	2,74	6,81	14,06	1,22
1a	Buchenrohhumus, 1. Schicht, Bagno	9,40	6,65	6,15	—	7,07	1,28	42,56	46,03	3,14	6,89	13,13	1,46
1b	Buchenrohhumus, 2. Schicht, Bagno	3,79	4,05	9,12	12,0	9,36	1,76	40,05	43,12	2.73	10,66	9,96	0,85
2	Buchenrohhumus, 3. Schicht, Bagno	2,68	4,76	11,26	39,0	11,22	1,91	43,84	42,36	2,76	8,74	6,23	0,51
3	Buchenrohhumus, 4. Schicht, Bagno	17,39	3,03	34,22	24,0	8,72	1,57	34,91	33,53	2,34	31,00	3.44	0,32
76	Buchenrohhumus, obere Laubdecke. Bagno, den 20. 6. 26	8,35	4,17	10,46	8,0	8,92	1,65	39,78	—	2,52	10,24	10,79	1,43
77	Buchenrohhumus, dem Boden aufliegende Schicht	6,85	2,15	53,04	12,0	4,86	1,09	20,86	—	1,03	54,78	4,06	0,39
86	Buchenrohhumus, 1% Eiche, 1. Schicht, Ostbevern	4,81	5,16	5,10	26,0	11,61	1,56	41,18	43,66	1,95	5,30	12,36	1,40
87	Dasselbe, 2. Schicht	8,36	4,03	6,06	28,0	8,11	1,82	44,06	45,52	2,28	5,97	9,83	0,79
88	Dasselbe, 3. Schicht	3,55	4,21	7,34	32,0	8,20	2,00	44,33	49,57	2,35	7,02	7,32	0,68
	Verwelkte Eichenblätter	6,93	12,19	4,83	28	9,22	1,50	42,55	25,88	2,07	5,15	13,93	1,38
15a	Nicht zersetzte Eichenblätter. Bagno . . .	8,00	5,30	17,06	—	11,38	1,53	39,50	—	2,37	13,54	9,83	1,75
41	Nicht zersetzte Eichenblätter. Bagno . . .	3,22	6,17	6,94	28,0	12,91	1,60	41,57	—	2,10	7,13	10,40	1,88
15	Unter 15a liegender Eichenrohhumus	3,88	2,57	51,44	12,0	5,56	1,34	25,39	—	1,15	46,66	4,59	0,46
39	Reine Roteichen. Ziemlich gut zersetzte Decke	3,57	4,49	42,10	—	5,36	1,44	31,26	—	2,35	42,55	7,20	0,93

Rohhumus.

2. In der wasser- und aschefreien Substanz.

A. Laubhölzer.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Substanz		In Rückstand von Alkohol-Benzol-Auszug				
		Alkohol-Benzolauszug %	Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
	Verwelkte Buchenblätter .	13,29	14,8	1,17	49,81	35,24	16,62	3,22
1 a	Buchenrohhumus, Bagno, 1. Schicht	7,87	—	1,48	49,47	53,49	15,26	3,65
1 b	Buchenrohhumus, Bagno, 2. Schicht	4,65	14,10	2,20	50,08	53,91	12,24	3,41
2	Buchenrohhumus, Bagno, 3. Schicht	5,53	45,32	2,39	54,77	52,92	7,78	3,42
3	Buchenrohhumus, Bagno, 4. Schicht	6,26	49,60	2,60	57,91	55,62	5,70	3,88
76	Buchenrohhumus, obere Laubdecke, Bagno	5,13	9,85	2,04	49,21	—	13,35	3,14
77	Buchenrohhumus, dem Boden aufliegende Schicht . .	5,36	29,92	2,70	51,68	—	10,06	2,50
86	Buchenrohhumus, 1 % Eiche, Ostbevern, 1. Schicht . .	5,73	28,86	1,88	49,56	52,49	14,88	2,35
87	Buchenrohhumus, 1 % Eiche, Ostbevern, 2. Schicht . .	4,71	32,72	2,12	51,28	53,33	11,44	2 65
88	Buchenrohhumus, 1 % Eiche, Ostbevern, 3. Schicht . .	4,72	35,91	2,36	52,29	58,47	8,63	2,77
	Verwelkte Eichenblätter . .	13,91	31,7	1,72	49,76	29,60	15,12	2,46
15 a	Nicht zersetzte Eichenblätter, Bagno	7,07	—	2,04	52,61	—	13,09	3,56
41	Nicht zersetzte Eichenblätter, Bagno	6,87	31,89	2,00	51,99	—	13,01	2,63
15	Unter 15a liegender Eichenrohhumus	5,75	26,86	2 81	53,14	—	9,61	2,41
39	Reine Roteichen, ziemlich gut zersetzt	8,26	—	2.77	60,01	—	13,82	4,51

Rohhumus.

1. In der lufttrockenen Substanz.

B. Nadelhölzer.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Blätter und Nadeln: Wasser %	Alkohol-Benzolauszug %	Asche %	Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	In dem Rückstand von Alkohol-Benzol-Auszug: Wasser %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Methoxyl %	Asche %	Pentosane %	Kalk %
	Fichtennadeln, mehrjährige	9,43	22,13	4,22	182,0	10,33	1,18	40,03	29,88	2,10	5,08	7,28	2,01
18	Fichtenrohhumus, gesamte Decke, Bagno	8,17	4,88	29,82	18,0	9,09	1,53	32,55	—	1,40	28,46	5,34	0,93
46	Fichtenrohhumus, 1. Schicht	3,40	7,53	8,50	52.0	8,80	1.49	42,48	—	2,34	8,25	6,99	1,83
47	Fichtenrohhumus, 2. Schicht	3,63	5,15	20,94	38,0	9,53	1,64	37,54	—	1,72	19,45	5,29	0,89
48	Fichtenrohhumus, 3. Schicht	0,37	2,73	49,56	27,0	8,20	1,12	25,10	—	0,79	44,74	3,39	0,59
	Mehrjährige Kiefernnadeln	5,16	25,47	2,32	49,0	8,12	1,93	42,21	33,88	2,33	3,02	8,72	0,62
21	Kiefernrohhumus, gesamte Decke, Fuchshagen	4,45	6,42	25,34	24 0	7.17	1.34	30,06	—	2,20	27,68	5,21	0,33
42	Kiefernrohhumus, 1. Schicht	2,82	12,68	2,32	36,0	13,11	1,53	43,38	—	2,31	2,47	7,10	0,26
43	Kiefernrohhumus, 2. Schicht	4,93	9,07	6,54	40,0	9,16	1,48	43,16	—	2,10	6,76	6,80	0,21
44	Kiefernrohhumus, 3. Schicht	1,15	5,03	42 00	56,0	6,77	1,04	28,55	—	1,21	39,06	2,99	0,22
52	Kiefernrohhumus, Alten Rheine, 1. Schicht	9,30	8,89	10,20	28,0	10,84	1,35	41,60	—	2,01	10,53	6,35	0,25
53	Dasselbe, 2. Schicht	10,15	7,89	9,42	23,5	10,82	1,41	41,02	—	2,01	12,27	5.16	0,13
54	Dasselbe, 3. Schicht	5,90	5,57	37,06	56,0	7,57	1,15	30,52	—	1,74	34,26	3,32	0,29
56	Kiefernrohhumus, Alten Rheine, 1. Schicht	7,45	9,54	5,46	32,0	11,13	1,57	43,43	—	2,62	5,28	7,02	0,25
57	Dasselbe, 2. Schicht	7 88	9,39	5,64	26,0	10,23	1,51	44,23	—	2,73	5,37	6,71	0,24
58	Dasselbe, 3. Schicht	4,78	7,16	35,30	43,0	7,82	1,07	33,82	—	1,85	30,94	4,54	0,21
90	Kiefernrohhumus, Ostbevern, 1. Schicht	4,15	11,07	5,38	28,0	12,20	1,27	40,95	—	1,59	3,75	7,02	0,61
91	Dasselbe, 2. Schicht	7,00	6,80	29,42	67,0	9,97	1,31	34,26	—	1,53	44,47	3,70	0,40
92	Dasselbe, 3. Schicht	11,54	6,04	22,28	84,0	12,79	1,09	32.96	—	1,90	25,01	2,90	0,49
93	Dasselbe, 4. Schicht	2,78	7,29	26,04	97,0	14,19	1,18	34,95	—	2,25	21,42	2,42	0,47

Rohhumus.

2. In der wasser- und aschefreien Substanz.

B. Nadelhölzer.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Substanz: Alkohol-Benzolauszug %	Ursprüngliche Substanz: Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	Im Rückstand von Alkohol-Benzolauszug: Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
	Mehrjährige Fichtennadeln .	25,63	210	1,39	47,73	35,61	8,60	2,48
18	Fichtenrohhumus, gesamte Decke, Bagno	7,87	29,03	2,45	52,12	—	8,55	2,24
46	Fichtenrohhumus, 1. Schicht	8,55	47,67	1,80	51,21	—	8,42	2,82
47	Fichtenrohhumus, 2. Schicht	6,83	50,38	2,31	52,86	—	7,45	2,42
48	Fichtenrohhumus, 3. Schicht	5,45	53,92	2,38	53,34	—	7,20	1,68
	Mehrjährige Kiefernnadeln .	27,58	52,9	2,06	46,88	37,92	9,67	2,65
21	Kiefernrohhumus, gesamte Decke	9,14	34,18	2,03	46,14	—	8,00	3,38
42	Kiefernrohhumus, 1. Schicht	13,37	37,95	1,81	51,39	—	8,41	2,77
43	Kiefernrohhumus, 2. Schicht	10,25	45,18	1,76	51,33	—	8,09	2,51
44	Kiefernrohhumus, 3. Schicht	8,85	98,50	1,92	52,71	—	5,52	2,23
52	Kiefernrohhumus, 1. Schicht, Alten Rheine	11,04	34,78	1,72	52,91	—	8,08	2,55
53	Kiefernrohhumus, 2. Schicht, Alten Rheine	9,81	29,22	1,83	52,65	—	6,71	2,61
54	Kiefernrohhumus, 3. Schicht, Alten Rheine	9,77	98.18	1,98	52,46	—	5,76	2,99
56	Kiefernrohhumus, 1. Schicht, Alten Rheine	10,95	36,74	1,88	51,95	—	8,40	3,15
57	Kiefernrohhumus, 2. Schicht, Alten Rheine	10,86	30,05	1,79	52,40	—	7,95	3,24
58	Kiefernrohhumus, 3. Schicht, Alten Rheine	11,95	71,77	1,75	55,22	—	7,41	3,02
90	Kiefernrohhumus, 1. Schicht, Ostbevern	12,24	30,95	1,51	48,72	—	8,35	1,89
91	Kiefernrohhumus, 2. Schicht, Ostbevern	9,91	105,40	2,00	52,26	—	5,64	2,33
92	Kiefernrohhumus, 3. Schicht, Ostbevern	9,12	126,90	1,75	53,05	—	4,66	3,06
93	Kiefernrohhumus, 4. Schicht, Ostbevern	10,24	136,30	1,83	54,26	—	3,76	3,49

Rohhumus.

1. In der lufttrockenen Substanz.

C. Mischbestände.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Blätter und Nadeln: Wasser %	Alkohol-Benzolauszug %	Asche %	Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	In dem Rückstand vom Alkohol-Benzolauszug: Wasser %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Methoxyl %	Asche %	Pentosane %	Kalk %
36	Birke und Roteiche, ziemlich gut zersetzte Decke Bagno	1,30	4,31	56,26	10,0	5,41	1,19	25,48	—	1,06	52,65	5,65	1,56
24	Kiefer und Eiche, gesamte unzersetzte Decke	1,22	4,51	42,36	22,0	4,57	1,20	24,77	—	1,99	45,96	3,12	0,56
30	Kiefer und Birke, gesamte mäßig zersetzte Decke	1,48	6,81	28,32	9,0	6,07	1,93	28,93	—	2,38	31,76	6,44	0,88
102	Kiefer, Weißtanne, Faulbaum. 1. Schicht	1,70	10,25	3,76	32,0	5,83	1,75	44,68	—	2,35	3,94	8,12	0,44
103	2. Schicht	7,57	7,04	4,14	30,0	6,48	1,80	45,78	—	2,44	4,46	6,53	0,34
104	3 Schicht	8,57	6,93	5,82	56,0	13,60	1,75	42,56	—	2,73	6,08	5,69	0,30
105	4. Schicht	6,27	5,33	5,66	136,0	14,59	1,70	44,22	—	2,10	5,32	6,98	0,17
33	Fichte, Pappel, Aspe, gesamte unzersetzte Decke	1,87	4,29	43,68	—	6,12	1,50	33,06	—	1,71	37,08	5,78	1,32
	Pflanzenmoosdecke auf verhagertem Boden.												
50	Gesamte Pflanzenmoosdecke	2,05	2,10	53,20	24,0	7,69	1,00	19,87	—	0,85	48,31	3,56	0,39

Rohhumus.

2. In der wasser- und aschefreien Substanz.

C. Mischbestände.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Substanz: Alkohol-Benzolauszug %	Ursprüngliche Substanz: Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	Im Rückstand von Alkohol-Benzolauszug: Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
36	Birke und Roteiche, ziemlich gut zersetzt	10,16	23,56	2,29	49,06	—	10,88	2,04
24	Kiefer und Eiche, unzersetzte Decke	7,99	38,99	2,43	50,00	—	6,31	4,02
30	Kiefer und Birke, mäßig zersetzte Decke	9,70	12,82	3,06	54,14	—	10,19	3,76
102	Kiefer, Weißtanne, Faulbaum, 1. Schicht	10.84	33,85	1.94	49,52	—	8,99	2,61
103	2. Schicht	7,90	33,98	2,02	51,40	—	7,30	2,74
104	3. Schicht	6,23	65,52	2,18	52,99	—	7,08	3,40
105	4. Schicht	6,05	154,40	2,12	54,72	—	8,72	2,62
33	Fichte, Pappel, Aspe, unzersetzte Decke	7,88	—	2,64	58,82	—	10,41	3,01
	Pflanzenmoosdecke auf verhagertem Boden.							
50	Gesamte Pflanzenmoosdecke	4,69	53,63	2,27	45,16	—	8,09	1,92

Normal zersetzter Humus.

1. In der lufttrockenen Substanz.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Blätter und Nadeln				In dem Rückstand von Alkohol-Benzolauszug							
		Wasser %	Alkohol-Benzolauszug %	Asche %	Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	Wasser %	Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Methoxyl %	Asche %	Pentosane %	Kalk %
	A. Laubhölzer.												
9	Buchenmoder. Bagno	2,41	3,34	31,20	6,0	6,60	1,70	35.57	—	2,24	27,88	5,65	1,07
12	Normal zersetzte Buchenlaubdecke	4,04	3,17	38,88	2,C0	6,46	1,16	27,08	28 35	2 30	34,17	8,48	1,49
74	Normal zersetzte Buchenlaubdecke	3,37	1,94	47,20	2,0	2,87	0,92	22,61	20,15	1,98	53,30	5,60	1,03
75	Normal zersetzte Buchenlaubdecke. Sauerklee und Waldmeister	6,58	3,26	30,44	4 0	3,91	1,13	29,79	—	1,86	36,31	9,52	1·25
27	Normal zersetzter Birkenhumus	1,38	4,65	41,38	6,0	4,45	1,57	25,53	26,82	1,15	42,25	5,52	0,80
	B. Nadelhölzer.												
	Sitkafichtennadeln, mehrjährig	8,80	20,40	4,36	52,0	11,41	1,26	40,33	36,40	2,13	4,62	6,31	1,28
83	Normal zersetzter Humus der Sitkafichte	10,65	6,28	9,60	26,0	10,51	1,51	38,08	27,93	1,33	12,65	6,31	0,94

Normal zersetzter Humus.

2. In der wasser- und aschefreien Substanz.

Nr. des Journals	Nähere Angaben	Ursprüngliche Substanz: Alkohol-Benzolauszug %	Ursprüngliche Substanz: Säuregrad 100 g Substanz verbrauchen n/10 NaOH ccm	Im Rückstand von Alkohol-Benzolauszug: Stickstoff %	Kohlenstoff %	Rohfaser %	Pentosane %	Methoxyl %
	A. Laubhölzer.							
9	Buchenmoder, Bagno . . .	5,03	9,04	2,95	54,39	—	8,62	3,42
12	Normal zersetzte Buchenlaubdecke	5,55	3,54	1,95	45,78	47,75	14,28	3,87
74	Normal zersetzte Buchenlaubdecke	3,93	4,04	2,10	51,17	40,65	12,78	4,52
75	Normal zersetzte Buchenlaubdecke mit Sauerklee und Waldmeister	5,18	6,35	1,94	49,83	—	15,93	3,11
27	Normal zersetzter Birkenhumus	8,12	10,48	2,94	47,90	50,32	10,63	2,16
	B. Nadelhölzer.							
	Mehrjährige Sitkafichtennadeln .	23,49	59,8	1,50	48,03	43,35	7,57	2,54
	Sitkafichtenhumus	7,28	32,60	1,97	49,56	36,35	8,21	1,73

1. Physikalische Untersuchung.

Herkunft	Nähere Bezeichnung	Volumengewicht auf 1 l in g	Spezifisches Gewicht	Poren-Volumen %	Wasserhaltende Kraft %	Korngrößen in Millimeter					
						1—2 %	1—0,5 %	0,5—0,2 %	0,2—0,01 %	0,01-0,002 %	< 0,002 %
Bagno, Schlangenbusch	Hagerboden unter Moosdecke 0—15 cm	1342	2,61	51,4	27,6	0,30	6,26	50,90	34,16	4,10	3,14
Bagno, Sohlangenbusch	Boden unter Rohhumus 0—15 cm	1220	2,57	47,5	31,2	0,30	7,90	47,12	35,48	3,44	4,46
Bagno, Schlangenbusch	Boden unter normal zersetztem Humus 0—15 cm	1304	2,62	49,8	27,0	0,50	12,14	47,02	30,46	2,82	5,32
Bagno, Forsthaus, 100jähr. Buchenbestand	Hagerboden unter Moosdecke 0—15 cm	1436	2,63	54,6	20,8	0,24	6,90	32,74	32,94	2,46	4,00
Bagno, Forsthaus, 100jähr. Buchenbestand	Boden unter Rohhumus 0—15 cm	1432	2,60	55,1	26,9	0,14	5,60	48,08	38,60	0,80	4,80
Bagno, Forsthaus, 100jähr. Buchenbestand	Boden unter normal zersetztem Humus	1396	2,61	53,5	25,6	0,20	3,62	48,24	41,64	1,90	3,70

2. Chemische Untersuchung.

Herkunft	Nähere Bezeichnung	Glühverlust %	Wasser %	Wasserstoffionenkonzentration P_H	Titrationsazidität 100 g Boden verbrauchen n/10 NaOH ccm	In 10%iger Salzsäure löslich					
						Fe_2O_3 mg	Al_2O_3 mg	CaO mg	MgO mg	P_2O_5 mg	K_2O mg
Bagno, Schlangenbusch	Hagerboden unter Moosdecke 0—15 cm	2,69	0,67	< 4,0	12,7	203,0	494,0	35,0	40,0	13,0	42,1
Bagno, Schlangenbusch	Boden unter Rohhumus 0—15 cm	7,78	2,06	< 4,0	35,5	175,0	896,0	30,0	60,0	38,0	54,6
Bagno, Schlangenbusch	Boden unter normal zersetztem Humus 0—15 cm	3,51	1,23	< 4,0	8,0	326,0	785,0	90,0	70,0	49,0	58,0
Bagno, Forsthaus, 100jährige Buchen	Hagerboden unter Moosdecke 0—15 cm	1,85	0,66	< 4,0	8,0	254,0	645,0	30,0	31,0	10,0	29,3
Bagno, Forsthaus, 100jährige Buchen	Boden unter Rohhumus 0—15 cm	2,82	0,74	< 4,0	7,5	99,0	254,0	20,0	34,0	13,0	11,4
Bagno, Forsthaus, 100jährige Buchen	Boden unter normal zersetztem Humus 0—15 cm	2,15	0,57	4,2	7,1	250,0	399,0	45,0	45,0	28,0	31,0

Böden unter verschiedenem Humus.
Physikalische und chemische Untersuchungen.

Nähere Angaben	Porenvolumen %	Wasserkapazität %	Wasserstoffionenkonzentration P_H	Titrationsazidität 100 g Boden verbrauchen n/10 NaOH ccm	In 10%iger Salzsäure löslich: F_2O_3 mg	Al_2O_3 mg	CaO mg	MgO mg	P_2O_5 mg	K_2O mg
1. Boden unter Rohhumus.										
a) Laubhölzer.										
Buche, Ostbevern . .	45,25	42,78	< 4,0	17,0	139,0	181,0	61,0	25,0	30,0	11,0
Eiche, Bagno	48,40	35,99	4,0	14,5	213,0	528,0	30,0	39,0	21,0	16,0
b) Nadelhölzer.										
Fichte, Bagno	50,97	33,63	= 4,0	18,5	357,0	516,0	45,0	62,0	20,0	24,0
Kiefer, Ostbevern . .	47,14	31,33	= 4,0	8,0	50,0	92,0	35,0	19,0	14,0	6,0
Kiefer, Fuchshagen, umgepflügter Heidehumus	49,05	24,53	< 4,0	54,0	2630,0	1700,0	50,0	81,0	43,0	36,0
c) Mischbestände.										
Fichte, Pappel, Aspe, Fuchshagen	54,92	22,95	= 4,0	19,0	486,0	1250,0	60,0	67,0	19,0	28,0
Birke, Roteiche, Fuchshagen	52,63	21,85	= 5,2	0,5	1340,0	440,0	100,0	73,0	32,0	29,0
Kiefer, Weißtanne, Faulbaum, Ostbevern . .	42,00	57,06	= 4,0	41,0	129,0	588,0	45,0	34,0	70,0	15,0
2. Hagerboden unter Moosdecke.										
Boden unter Moosdecke, Bagno	52,86	28,63	= 4,0	6,5	74,0	191,0	61,0	27,0	16,0	2.0
3. Boden unter normal zersetztem Humus.										
a) Laubhölzer.										
Birke, Fuchshagen . .	50,78	25,99	= 4,0	24,0	1050,0	1060,0	55,0	77,0	27,0	25,0
Roteiche, Fuchshagen .	57,63	20,40	= 4,5	1,5	625,0	360,0	75,0	50,0	26,0	14,0
b) Nadelhölzer.										
Sitkafichte, Ostbevern .	66,44	43,49	= 4,0	13,0	2700,0	1260,0	80,0	80,0	122,0	29,0

Lebenslauf.

Ich, Theo Kleberg, wurde im Jahre 1899 am 31. März als Sohn des Knappschaftsbürovorstehers Theodor Kleberg in Bochum geboren. Im Jahre 1919 erhielt ich das Reifezeugnis der Oberrealschule zu Bochum und bezog S.-S. 1920 die Universität Leipzig, wo ich das erste Verbandsexamen bestand. Dann begab ich mich im Jahre 1924 zur Universität Münster, woselbst ich meine zweite Verbandsprüfung ablegte und 1926 an der „Landwirtschaftlichen Versuchsstation" mit meiner Dissertation begann. Zwischendurch legte ich im Juni 1926 die Vorprüfung für Nahrungsmittelchemiker ab und bestand am 3. Juni 1927 die mündliche Doktorprüfung.